



THESIS - MN142532

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS *SANDWICH* *PANEL* BERBAHAN *CORE* MATERIAL LIMBAH SEKAM UNTUK KONSTRUKSI GELADAK KAPAL

YUDIONO
04111650030003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 1984031 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN JUDUL

THESIS - MN142532

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS *SANDWICH* *PANEL* BERBAHAN *CORE* MATERIAL LIMBAH SEKAM UNTUK KONSTRUKSI GELADAK KAPAL

YUDIONO

04111650030003

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D

NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER

SURABAYA

2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

YUDIONO

NRP 04111650030003

Tanggal Ujian : 20 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1 012

2. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620328 198803 1 001

3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001

4. Aries Sulisetyono, S.T., MAsc., Ph.D.
NIP. 19710320 199512 1 002

5. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 78

Pelaksana Tugas Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,

Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19581005 198603 1 003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Analisis Statis dan Dinamis Sandwich Panel Berbahan Core Material Limbah Sekam untuk Konstruksi Geladak Kapal”**. Adapun maksud penulisan tesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini banyak pihak yang telah membantu, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D dan Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng.,Ph.D sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D, selaku dosen wali bagi penulis selama menempuh studi Magister.
4. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc., Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Buana Ma'ruf M.Sc.,MM. selaku dosen penguji sidang proposal tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
5. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D, Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D, Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc, Aries Sulisetyono, ST, MASc, Ph.D selaku dosen penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian ini.
6. Seluruh Dosen Program Pasca Sarjana Teknik Perkapalan yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
7. Bapak Matarip dan ibu Supiyati selaku orang tua yang banyak memberikan bantuan moril dan materil serta doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.

8. Nur Farida Amin Dariyati yang senantiasa memberikan semangat serta doa selama penulis menimba ilmu.
9. Tim peneliti *sandwich panel*, yang telah memberikan semangat, masukan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
10. Kolonel Laut (T) Dony Ruswandi, Kolonel Laut (T) Ir. Soegeng Poerwadi, Letkol Laut (KH) Drs. Imbalo P. Tambunan, Mayor Laut (T) Pompy Pratisna, ST, MT dan seluruh staf Laboratorium Industri Kimia dan Material, KOARMATIM TNI AL Surabaya, yang telah mendukung pengujian laboratorium penelitian ini.
11. Prof. Soehardjono dan Pak Oegik dari Laboratorium Workshop Mesin ITS yang telah membimbing penulis dalam pengerjaan pengujian eksperimen getaran.
12. Rekan-rekan Pasca Sarjana 2016 : Kharis, Iid, Sidik, Bagus Gelis, Febri, Damar, Soegeng, Bagus Kusuma, Vivi, Anza, Awwalin dan Yosep yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS *SANDWICH PANEL* BERBAHAN *CORE MATERIAL* LIMBAH SEKAM UNTUK KONSTRUKSI GELADAK KAPAL

Nama Mahasiswa : Yudiono
NRP : 04111650030003
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Untuk mendapatkan material yang ringan dan kuat maka dibuatlah inovasi yang berupa material *sandwich panel* yaitu material komposit yang disusun antara dua jenis material yang berbeda dan material ini telah dikembangkan dalam industri perkapalan. Kombinasi material *core* yang digunakan untuk penelitian ini terdiri atas *epoxy resin* dan serbuk sekam padi yang lolos saringan *mesh* 50 dan di-*treatment* untuk persentase berat serbuk sekam 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 30%. Metode eksperimen dilakukan dengan uji densitas, *hardness*, uji kuat tarik. Material *core* dengan persentase serbuk sekam 10% dan 15% telah lolos kriteria LR dan dipilih sebagai material *core* pada material *sandwich panel* untuk uji lentur dan uji getaran. Uji getaran dilakukan untuk mengetahui frekuensi natural beserta *damping ratio*-nya dan aplikasi struktur kapal dengan simulasi FEM.

Dari pengujian tegangan lentur pelat *sandwich panel* dengan *core* berkadar 10% sekam adalah sebesar 156,89 MPa dan *core* berkadar 15% sekam sebesar 131,02 Mpa. Dari uji getaran diperoleh frekuensi natural pelat *sandwich panel* dengan *core* berkadar 10% sekam adalah 625 Hz sedangkan *sandwich* dengan *core* berkadar 15% sekam sebesar 572 Hz. *Damping ratio* struktur *sandwich* berkisar 1%. Penurunan frekuensi natural akibat retak pada *core* sebesar 5%. Reduksi berat konstruksi geladak kapal setelah diganti *sandwich panel* rata-rata sebesar 7,82%.

Kata kunci : *Sandwich Panel*, *Core Material*, Serbuk Sekam Padi, Uji Getaran, Struktur Geladak Kapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STATIS AND DYNAMIC ANALYSES OF SANDWICH PANEL WITH CORE MATERIAL FROM RICE HUSK FOR SHIP DECK STRUCTURE

Name : Yudiono
NRP : 04111650030003
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Co Supervisor Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

To get a relatively lightweight yet strong material, innovations are needed. Sandwich panel material is one of them. It is composite materials that are arranged between two different types of materials. This material has not been fully developed in the shipping industry. The combination of core material used for this study consisted of epoxy resin and rice husk powder which passed the mesh sieve #50. Rice husk powder consisted in the core material were 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 30% of total core weight. The experiments were conducted to identify the core materials. These included density test, hardness, compressive and tensile strength test. The core materials with 10% and 15% husk powder percentages met the LR standard and therefore they were selected as core materials in the sandwich panel material for bending and vibration tests. The vibration test is performed to find out the natural frequency along with its damping ratio. Simulation on application of sandwich panel on ship structure was performed using finite element software to obtain ship weight reduction.

Results of this study showed that the bending stress of core consisted of 10% rice husk powder was 156,89 Mpa while that of 15% rice hush powder was 131,02 Mpa. The natural frequency of sandwich plate for core with 10% rice hush powder was 625 Hz and that with 15% rice husk powder was 572 Hz. Damping ration of the sandwich structure was about 1%. There was 5% decrease in natural frequency due to defect introduced in the core. Compared to conventional construction, weight reduction of ship's deck construction using sandwich panel was about 7.82%.

Keywords: Sandwich Panel, Rice Husk Powder, Ship Deck Structure, Vibration Test.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Hipotesis	3
1.6. Batasan Masalah.....	3
BAB 2	5
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. Material <i>Sandwich Panel</i>	5
2.2. Material <i>Sandwich Panel</i> Pada Kapal	8
2.3. Material <i>Core</i>	11
2.4. Perhitungan Ketebalan Pelat <i>Sandwich Panel</i>	15
2.5. Standar Pengujian Material <i>Sandwich Panel</i>	18
2.5.1. Pengujian Densitas	19
2.5.2. Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	19
2.5.3. Pengujian Tekan (Compressive Test)	21
2.5.4. Pengujian Tarik	22
2.5.5. Pengujian Lentur	23

2.6. Getaran.....	24
2.6.1. Damping Ratio.....	26
2.6.2. Frekuensi Natural	26
2.6.3. Menentukan Rasio Redaman (<i>Damping Ratio</i>).....	27
2.6.4. Modal Analysis.....	27
2.6.5. Experiment Modal Analisis	29
2.6.6. Fourier Transform	30
2.6.7. Sudut Fase	31
2.6.8. Noise Effect	32
2.6.9. Referensi Penelitian <i>Modal Analysis</i> pada Material <i>Sandwich Panel</i> ..	33
BAB 3.....	35
METODE PENELITIAN	35
3.1. Tahapan Penelitian	35
3.2. Studi Literatur.....	35
3.3. Pengumpulan Data Awal	36
3.4. Metode Identifikasi Material <i>Core</i>	37
3.4.1. Pengumpulan Material Serbuk Sekam Padi	37
3.4.2. Penyaringan Serbuk Sekam Padi	37
3.4.3. <i>Treatment</i> Serbuk Sekam Padi	38
3.4.4. Pembuatan Material Core	39
3.4.5. Pengujian Densitas Material <i>Core</i>	43
3.4.6. Pengujian <i>Hardness</i> Material <i>Core</i>	43
3.4.7. Pengujian Kekuatan Tarik Material <i>Core</i>	44
3.4.8. Pengujian Kuat Tekan (<i>Compressive</i>) Material <i>Core</i>	44
3.4.9. Hasil Identifikasi Material <i>Core</i>	45
3.5. Metode Pembuatan Material <i>Sandwich Panel</i>	45

3.5.1. Identifikasi Material <i>Faceplate</i>	45
3.5.2. Kalkulasi Ketebalan <i>Sandwich Panel</i>	46
3.5.3. Persiapan Material <i>Faceplate</i>	46
3.5.4. Pengecoran Material <i>Core</i> dengan <i>Faceplate</i>	46
3.6. Metode Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	47
3.6.1. Pengujian Densitas Material <i>Sandwich Panel</i>	47
3.6.2. Pengujian Lentur Material <i>Sandwich Panel</i>	48
3.6.3. Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	48
3.7. Pemodelan <i>Sandwich Panel</i>	49
3.8. Metode Pegujian Getaran	49
3.8.1. Persiapan Pengujian	49
3.8.2. Pengujian Getaran <i>Sandwich Panel</i>	50
3.8.3. Proses Pengolahan Data	51
3.9. Pembuatan Cacat pada <i>Core</i>	53
BAB 4	55
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Analisa Hasil Identifikasi Material <i>Core</i>	55
4.1.1. Hasil Penyaringan Serbuk Sekam	55
4.1.2. Hasil <i>Treatment</i> Serbuk Sekam.....	56
4.1.3. Pengujian Komposisi Kimia Serbuk Sekam	56
4.1.4. Pembuatan Spesimen Uji Tarik Material <i>Core</i>	57
4.1.5. Pengujian Densitas Material <i>Core</i>	59
4.1.6. Pengukuran Kekerasan (<i>Hardness</i>) Material <i>Core</i>	59
4.1.7. Pengujian Kuat Tarik Material <i>Core</i>	60
4.1.8. Pengujian Kuat Tekan (<i>Compressive</i>) Material <i>Core</i>	64
4.1.9. Hasil Identifikasi Material <i>Core</i>	65

4.2. Pembuatan Material <i>Sandwich Panel</i>	66
4.2.1. Kalkulasi Ketebalan <i>Sandwich Panel</i>	66
4.2.2. Pengecoran Material <i>Core</i> dengan <i>Faceplate</i>	67
4.3. Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	67
4.3.1. Pengujian Densitas Material <i>Sandwich Panel</i>	68
4.3.2. Pengujian Kekuatan Lentur Material <i>Sandwich Panel</i>	69
4.3.3. Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	70
4.4. Analisa Muatan Ponton	71
4.5. Aplikasi <i>Sandwich Panel</i> pada Struktur Kapal	73
4.6. Analisa Respon Getaran Material <i>Sandwich Panel</i>	76
4.6.1. Pemodelan <i>Sandwich Panel</i> dengan Metode FEM	76
4.6.2. Hasil Eksperimen Getaran <i>Sandwich Panel</i>	78
4.6.3. Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Utuh	81
4.6.4. Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Cacat	82
4.6.5. Hasil dan Analisa <i>Damping Ratio Sandwich Panel</i>	82
4.7. Perubahan Berat Konstruksi	83
BAB 5	86
KESIMPULAN DAN SARAN	86
5.1. Kesimpulan	86
5.2. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pelat <i>sandwich panel</i>	5
Gambar 2.2 Grafik <i>stress-strain</i> material <i>elastomer</i>	6
Gambar 2.3 Pengujian ketahanan material <i>Sandwich Panel</i>	7
Gambar 2.4 Sistem konstruksi : (a) konvensional, (b) <i>sandwich panel</i>	10
Gambar 2.5 Penggunaan <i>Sandwich Panel</i> pada kapal	10
Gambar 2.6 Tampak permukaan perkakas setelah dilapisi <i>Epoxy resin</i>	12
Gambar 2.7 Serbuk sekam padi	15
Gambar 2.8 <i>Steel sandwich panel scantling definition</i>	16
Gambar 2.9 Bentuk identer pada <i>Shore D</i>	20
Gambar 2.10 <i>Compression tool</i>	21
Gambar 2.11 Ukuran spesimen uji tarik	22
Gambar 2.12 Titik pembebanan tunggal dan ganda	23
Gambar 2.13 <i>Undamped vibration</i>	25
Gambar 2.14 Penentuan estimasi redaman, <i>half power bandwidth</i>	27
Gambar 2.15 Ilustrasi sudut fase	31
Gambar 2.16 <i>Modal testing</i> secara umum dari FRF	32
 Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	 35
Gambar 3.2 Penampang melintang kapal ponton	37
Gambar 3.3 Penyaringan serbuk sekam padi:	38
Gambar 3.4 Pengeringan material serbuk sekam dalam <i>oven</i>	39
Gambar 3.5 <i>Hardener</i> , <i>Epoxy resin</i> dan pigmen kuning	40
Gambar 3.6 Proses menimbang berat material :(a) <i>hardener</i> , (b) <i>epoxy resin</i> , (c) serbuk sekam	41
Gambar 3.7 Proses pengadukan selama 3-5 menit	41
Gambar 3.8 Proses penuangan cairan <i>core</i> kedalam cetakan	42
Gambar 3.9 Proses <i>curing</i> dan <i>hardening</i> dalam cetakan	42
Gambar 3.10 <i>Mirror glaze</i> dan stempet	43
Gambar 3.11 Menimbang berat material <i>core</i>	43

Gambar 3.12 Gambar durometer	44
Gambar 3.13 Pengujian material <i>core</i>	44
Gambar 3.14 Spesimen uji tekan berbentuk silinder	45
Gambar 3.15 Pelat SPS berbentuk cetakan/wadah yang siap diisi <i>core</i> cair.....	46
Gambar 3.16 Hasil pengecoran <i>core</i> kedalam <i>faceplate</i>	47
Gambar 3.17 Menimbang berat material <i>sandwich panel</i>	47
Gambar 3.18 Proses pengujian lentur material <i>sandwich panel</i>	48
Gambar 3.19 Model <i>sandwich panel</i>	49
Gambar 3.20 Dudukan untuk pengujian getaran	50
Gambar 3.21 <i>Set up</i> penelitian yang digunakan dalam pengujian.....	50
Gambar 3.22 Ilustrasi pengambilan data	51
Gambar 3.23 Bagan pengolahan data	51
Gambar 3.24 Proses membuat cacat pada <i>core</i> material <i>Sandwich panel</i>	53
Gambar 4.1 Persentase penyaringan serbuk sekam.....	55
Gambar 4.2 Hasil uji XRF.....	57
Gambar 4.3 Spesimen material <i>core</i> siap uji.....	58
Gambar 4.4 Bentuk cacat berupa lubang / kawah	58
Gambar 4.5 Bentuk patahan material <i>core</i>	60
Gambar 4.6 Grafik <i>tensile strength</i> material <i>core</i>	61
Gambar 4.7 Diagram <i>stress-strain</i> material <i>core</i> tiap komposisi.....	63
Gambar 4.8 Grafik modulus elastisitas material <i>core</i>	63
Gambar 4.9 Spesimen material <i>sandwich panel</i> siap uji.....	67
Gambar 4.10 Hasil uji lentur spesimen pelat <i>sandwich panel</i>	69
Gambar 4.11 Sudut runtuh batubara dan <i>shifting boards</i> pada kapal ponton	71
Gambar 4.12 Ilustrasi perhitungan tinggi muatan	72
Gambar 4.13 <i>Finite Element Model</i> ; (a) <i>Main deck</i> dengan sistem konstruksi konvensional, (b) <i>Main deck</i> dengan pembebanan.....	74
Gambar 4.14 Pemodelan pelat <i>sandwich panel core</i> 10%	74
Gambar 4.15 Pemodelan pelat <i>sandwich panel core</i> 15%	75
Gambar 4.16 Pemodelan <i>sandwich panel</i> pada <i>core</i> utuh.....	77
Gambar 4.17 Pemodelan <i>sandwich panel</i> dengan kondisi <i>core</i> cacat.....	77

Gambar 4.18 Hasil pengolahan data pengujian getaran <i>sandwich panel</i> kondisi utuh: (a) <i>core</i> 10%, (b) <i>core</i> 15%	79
Gambar 4.19 Hasil pengolahan data pengujian getaran <i>sandwich panel</i> kondisi cacat: (a) 10%, (b) 15%	80
Gambar 4.20 Perbandingan berat konstruksi antara <i>sandwich panel</i> dengan sistem konvensional	85

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil analisis tegangan oleh <i>Brooking & Kennedy</i>	8
Tabel 2.2 Perbandingan berat oleh <i>Brooking & Kennedy</i>	9
Tabel 2.3 Produksi gabah kering tahun 2010-2014	15
Tabel 2.4 Ketebalan minimum <i>top plate</i> (t_1) dan <i>botom plate</i> (t_2).....	17
Tabel 2.5 Ketebalan minimum yang diijinkan	17
Tabel 2.6 Standarisasi pengujian dan kriteria <i>sandwich panel</i>	18
Tabel 3.1 <i>Principle dimension</i> kapal ponton.....	36
Tabel 3.2 Kalkulasi persentase berat material <i>matrix</i> dan <i>filler material core</i>	40
Tabel 4.1 Kriteria material klas <i>Lloyd's Register</i> , (2006)	55
Tabel 4.2 Kalkulasi penyusutan kadar air didalam serbuk sekam	56
Tabel 4.3 Persentase berat dan unsur kimia serbuk sekam padi (wt=berat)	57
Tabel 4.4 Densitas rata-rata tiap komposisi <i>core</i>	59
Tabel 4.5 Rata-rata hasil pengukuran uji kekerasan	59
Tabel 4.6 Rata-rata nilai hasil uji tarik material <i>core</i>	61
Tabel 4.7 Nilai kuat <i>compressive</i> material <i>core</i>	64
Tabel 4.8 <i>Mechanical properties</i> material <i>core</i> lolos kriteria LR.....	65
Tabel 4.9 Kalkulasi ketebalan lapisan <i>faceplate</i> (pers. 2.1).....	66
Tabel 4.10 Kalkulasi ketebalan material <i>core</i>	66
Tabel 4.11 Hasil densitas <i>sandwich panel</i>	68
Tabel 4.12 Hasil uji lentur material <i>sandwich panel</i>	69
Tabel 4.13 Identifikasi <i>sandwich panel</i> berdasarkan kriteria LR	70
Tabel 4.14 Mekanikal propertis material <i>sandwich panel</i>	71
Tabel 4.15 Tegangan maksimum pada konstruksi <i>main deck</i> ponton	75
Tabel 4.16 Hasil <i>modal analysis</i> pada <i>sandwich panel</i>	77
Tabel 4.17 Frekuensi natural <i>sandwich panel</i> kondisi utuh.....	79
Tabel 4.18 Frekuensi natural <i>sandwich panel</i> kondisi cacat.....	80
Tabel 4.19 Perbandingan analisa dan eksperimen <i>sandwich panel</i> kondisi utuh .	81

Tabel 4.20 Perbandingan analisa dan eksperimen <i>sandwich panel</i> kondisi cacat.	82
Tabel 4.21 Data <i>damping ratio sandwich panel</i>	83
Tabel 4.22 Berat konstruksi <i>main deck</i> ponton	83
Tabel 4.23 Kalkulasi berat konstruksi <i>main deck</i> dengan <i>sandwich panel</i>	84
Tabel 4.24 Perbandingan berat konstruksi <i>main deck sandwich panel</i> dan konvensional.....	84

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemajuan teknologi material saat ini merupakan kesinambungan teknologi sederhana dari masa lalu. Dengan kemampuan daya cipta yang diberikan, manusia akan selalu berusaha mencari cara atau metode untuk mempermudah dalam menjalani hidupnya, sehingga muncullah kreatifitas untuk membuat sesuatu yang berguna, baik berupa karya seni atau teknologi. Peradaban suatu bangsa bisa dinilai kemajuannya dengan melihat perkembangan teknologi yang dipakai oleh bangsa tersebut.

Begitupun dalam perkembangan sistem konstruksi pada kapal, seorang *engineer* akan selalu dituntut untuk melakukan inovasi-inovasi baru dalam pembuatan teknologi material yang lebih kuat, ringan dan aman sesuai *Rules*. Umumnya, kapal yang dibangun di galangan-galangan kapal adalah kapal dengan bahan utama dari material baja. Material baja adalah penyumbang terbesar pada berat sistem konstruksi kapal dan seorang pemilik kapal harus sudah menyisihkan dana untuk biaya perawatan, diantaranya biaya untuk mengganti pelat yang sudah tidak layak pakai karena kapal yang berbahan utama baja sangat rentan terhadap pengaruh lingkungan beroperasinya terutama munculnya korosi. Dan pelat yang mengalami korosi pasti akan menurunkan kekuatan pelat itu sendiri dan kekuatan kapal secara keseluruhan.

Untuk menjawab tantangan diatas adalah dengan melakukan inovasi yaitu penggunaan material *Sandwich Panel* pada sistem konstruksi kapal. Beberapa penelitian yang dilakukan *Brooking & Kennedy* (2004) mengenai pengaruh pelat *Sandwich Panel* pada LWT kapal menunjukkan bahwa pelat *Sandwich Panel* dapat mengurangi berat kapal sebesar 15 % dari berat kapal.

Momcilovic & Motok (2009) melakukan penelitian berat konstruksi pada 21 model *Barge* dari berbagai jenis muatan dan bentuk kombinasi konstruksi penegar dengan menggunakan material *Sandwich Panel*. Dan hasil penelitian tersebut diperoleh reduksi berat tidak lebih besar dari 15 persen, sebagian besar model

Barge yang diteliti memberikan nilai reduksi yang bervariasi antara 5 dan 8 persen. Reduksi berat konstruksi diperoleh dengan mengurangi penggunaan penegar-penegar pada sistem konstruksi *sandwich panel* beberapa *barge* tersebut.

Edy Utomo (2016) melakukan penelitian pada beberapa *block* dibagian *parallel middle body* kapal Roro-750 GT dan diperoleh perubahan bentuk konstruksi dengan berkurangnya penggunaan penegar dan penumpu, sehingga menghasilkan penurunan berat konstruksi sebesar 13,08%.

Pada tahap desain kapal adalah bagaimana merancang konstruksi kapal yang kuat sekaligus ringan dan berdampak pada kenaikan *payload*. Dengan kenaikan *payload*, maka dalam operasi kerjanya secara ekonomi akan menguntungkan bagi pemilik kapal. Maka dimulailah kreasi memadukan bahan yang mudah diperoleh dan kekuatannya memenuhi standar dari klas. Sehingga penulis tertarik untuk melakukan penelitian dan percobaan untuk membuat pelat *Sandwich Panel* yaitu pelat yang terdiri atas dua pelat baja yang menjepit *core* (material inti), dimana isi *core* yang akan dipakai adalah campuran *epoxy resin* dan serbuk sekam padi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka pokok permasalahan yang akan dipecahkan adalah :

1. Apakah *core* material dengan bahan *epoxy resin* dan serbuk sekam padi memenuhi standar klas LR (*Lloyd's Register*, 2006) ?
2. Bagaimana perilaku material *sandwich panel* dengan *core* yang dikembangkan terhadap beban uji lentur (ASTM C393) ?
3. Bagaimana sifat dinamis material *sandwich panel* tersebut terhadap getaran ?
4. Apakah *sandwich panel* yang dikembangkan dapat diaplikasikan pada struktur kapal ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sifat mekanik material *core* dengan uji densitas, *hardness*, kuat tarik, dan kuat kompresive.

2. Mengetahui sifat mekanik material *sandwich panel* dengan uji lentur.
3. Memperoleh data frekuensi natural dan *damping ratio* dari material *Sandwich Panel* melalui metode pengujian getaran.
4. Menghitung reduksi berat konstruksi geladak kapal berbahan *sandwich panel* dibandingkan dengan kapal konvensional.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi penelitian yang berkaitan dengan material *sandwich panel*.
2. Agar hasil penelitian ini bisa bermanfaat dan menambah khasanah ilmu material pada sistem konstruksi kapal.

1.5. Hipotesis

Pada penelitian ini akan dibuat material *core* dengan kombinasi antara *epoxy resin* dengan serbuk sekam. Kombinasi tersebut akan menghasilkan kekuatan material yang sesuai dengan kriteria klas, sehingga material dapat diaplikasikan pada kapal pembanding.

1.6. Batasan Masalah

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Peraturan penggunaan *sandwich panel* mengacu pada peraturan LR (*Lloyd's Register*, 2006).
2. Material *sandwich panel* yang digunakan merupakan baja A36 untuk *faceplate*-nya.
3. Penelitian hanya melakukan identifikasi struktur material *sandwich panel*, dengan material *core* yang dipilih adalah material yang lolos uji material berdasarkan kriteria LR.
4. Pengujian statis meliputi uji kekerasan (*hardness*), density, kuat tarik, lentur dan kuat *compressive*, sedang pengujian dinamis dilakukan dengan uji getaran.

5. Material *sandwich panel* yang diuji merupakan pemodelan dari aplikasi material *sandwich panel* di kapal pada area geladak muatan (*deck load*) atau *main deck*.
6. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian secara ekonomis pada penggunaan material *Sandwich Panel* pada kapal.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Material *Sandwich Panel*

Bentuk material *sandwich panel* secara umum diklasifikasikan menjadi dua yaitu *sandwich panel* komposit dan *sandwich panel* metalik (Ramakrishnan dan Kumar, 2016). *Sandwich panel* komposit terdiri dari komponen nonlogam seperti FRP, busa PU dan lain-lain. Jadi material *sandwich* merupakan material yang heterogen yaitu material yang tersusun oleh dua material yang berbeda. Aplikasi *sandwich panel* komposit biasanya dipakai pada kapal yacht, angkatan laut dan elemen pembawa nonbeban pada kapal-kapal besar. Pada gambar 2.1 merupakan bentuk pelat *sandwich panel* metalik, dimana *faceplate* dari baja (*top* dan *bottom*) menjepit *core* (material inti) yang berwarna kuning.



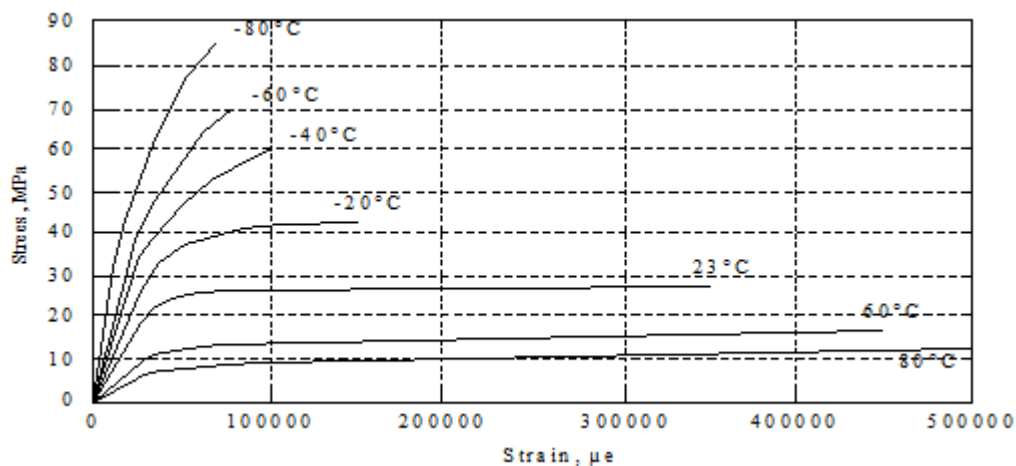
Gambar 2.1 Pelat *sandwich panel*

Penggunaan material *sandwich panel* pada kapal dapat menghemat 30% - 50 % dibanding penggunaan plat baja secara keseluruhan pada konstruksi. Awal pembentukan material ini dibentuk menyerupai serat yang didesain untuk menandingi serat nylon. Akan tetapi penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa *Polyurethane* bukan hanya digunakan sebagai serat, tapi dapat juga digunakan untuk membuat busa (*foam*), bahan elastomer (karet/plastik), lem, pelapis (*coating*), dan lain-lain.

Intelligent Engineering Ltd (IE) merupakan pemilik hak paten pada produksi material *Sandwich Panel* ini bersama dengan mitra industrinya *Elastogran GmbH*, anggota *BASF Group*, telah melakukan pengujian pada material *sandwich panel*. Spesifikasi karakteristik material diuji pada temperatur-temperatur operasional ekstrim yaitu -45°C sampai +100°C. Pengujian *mechanical*

properties dari material *elastomer* terdiri dari: berat jenis material, kekuatan tarik, kekuatan kompresi, modulus geser dan *poisson ratio* yang telah sesuai dengan standarisasi dari ASTM dan DIN.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan *Brooking & Kennedy* (2004), diperoleh grafik hubungan tegangan dan regangan material *Polyurethane elastomer* dari berbagai kondisi suhu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

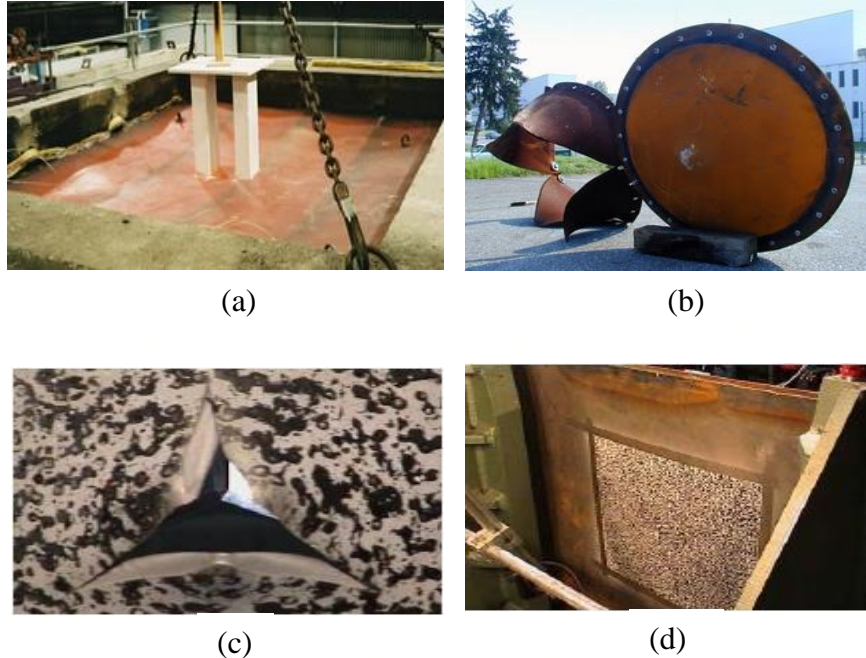


Gambar 2.2 Grafik *stress-strain* material *elastomer*

Selain dari pengujian untuk karakteristik mekanikal *properties*. Pengujian lain juga dilakukan pada *Sandwich Panel*, yang meliputi :

1. Ketahanan *fatigue* (*S-N curves*) pada ikatan antar bidang pelat dan sambungan las untuk penggabungan antara setiap panel *Sandwich Panel*.
2. Ketahanan pada air laut dan ketahanan kimia pada *elastomer* harus dapat bertahan selama proses pengoperasian material.
3. Ketahanan terhadap getaran dan peredaman terhadap kebisingan. *Sandwich Panel* memberikan ketahanan yang jauh lebih baik dari penggunaan baja.
4. Ketahanan terhadap balistik, diuji dengan dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kurva balistik untuk *Sandwich Panel* berada di bawah dari baja, yang menandakan *Sandwich*

Panel lebih tahan terhadap ketahanan balistik dibanding dengan material baja. (Intellegent Engineering, 2016)



Gambar 2.3 Pengujian ketahanan material *Sandwich Panel* (sumber : *Intellegent Engineering*, 2016)

Gambar 2.3 diatas menunjukkan pengujian ketahanan material *Sandwich Panel* untuk pengaruh lingkungan.

(a) pengujian ketahanan terhadap bahaya kebakaran, dari hasil pengujian tersebut perilaku *elastomer* dan pelat logam pada pemberian temperatur tinggi berfungsi dengan baik. IMO (*International Maritime Organization*) menilai pada struktur *Sandwich Panel* dengan ukuran (4-25-4) mampu bertahan pada kebakaran selama 60 menit.

(b) pengujian ketahanan terhadap ledakan, menunjukkan hasil *Sandwich Panel* lebih baik dari baja sehingga tepat digunakan untuk keperluan militer dan perlindungan kontaminasi air laut dari kepecahan lambung kapal,

(c) pengujian *impact* pada material baja

(d) pengujian *impact* pada *Sandwich Panel*, memberikan hasil yang jauh lebih baik dari material baja.

2.2. Material Sandwich Panel Pada Kapal

Penggunaan material *sandwich panel* di kapal telah banyak diterapkan. Berbagai macam riset juga telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh *Brooking & Kennedy* tentang pengaruh *Sandwich Panel* terhadap reduksi berat kapal, potensi penggunaan *Sandwich Panel* pada kapal tidak lepas dari beberapa karakteristik dari *Sandwich Panel* terhadap *Shipbuilding*, diantaranya :

- Struktur yang sederhana dan mudah untuk dibangun
- Perawatan yang dibutuhkan minimal
- Menambah ketahanan korosi
- Ketahanan terhadap retak dan masalah struktural lainnya

Selain itu, penggunaan *Sandwich Panel* juga telah menjadi pilihan utama beberapa perusahaan operator kapal internasional karena kelebihan-kelebihan diatas (*Ramakrishnan dan Kumar, 2016*).

Untuk penelitian terhadap aplikasi *Sandwich Panel* pada kapal *Brooking & Kennedy* (2004), melakukan desain studi penerapan *Sandwich Panel* pada kapal *tanker*, dengan LOA = 144,0 m ; B = 21,50 m pada DWT = 14.000 ton. Dengan menerapkan metode FE (*Finite element*), analisa yang dilakukan menunjukkan tegangan pada konstruksi yang menggunakan *Sandwich Panel* memberikan nilai yang lebih kecil dari kriteria tegangan yang diizinkan.

Tabel 2.1 Hasil analisis tegangan oleh *Brooking & Kennedy*

Structural Member	Stress Quantity	Allowable Stress Criteria	Stress, (Mpa)	
			All-Steel Scantlings	Sandwich Panel
Tank Top Plating	σ_x	108	88	106
	σ_y	147	128	118
	σ_e	177	113	110
Tank Top Stiffeners	σ_x	100	87	-
Outer Bottom Plating	σ_x	108	89	102
	σ_y	147	124	119
	σ_e	177	115	111
Outer Bottom Stiffeners	σ_x	100	103	-
Inner Side Shell Plating	σ_x	108	136	86
	σ_y	147	84	112
	σ_e	177	123	102
Outer Side Shell Plating	σ_x	108	86	88
	σ_y	147	59	91
	σ_e	177	78	84
Main Deck Plating	σ_x	108	-	104

	σ_y	147	-	31
<i>Longitudinal Bulkhead Plating</i>	σ_x	108	-	109
	σ_y	147	-	138
	σ_e	177	-	131

Pada Tabel 2.1 merupakan perbandingan hasil analisis tegangan antara pelat *Sandwich* dengan pelat baja, walaupun material *Sandwich Panel* rata-rata memiliki *stress* yang lebih besar terhadap baja biasa, material *Sandwich Panel* tetap memenuhi persyaratan yang diberikan. Ini membuktikan bahwa material *Sandwich Panel* dapat diaplikasikan ke dalam struktur di bidang perkapalan.

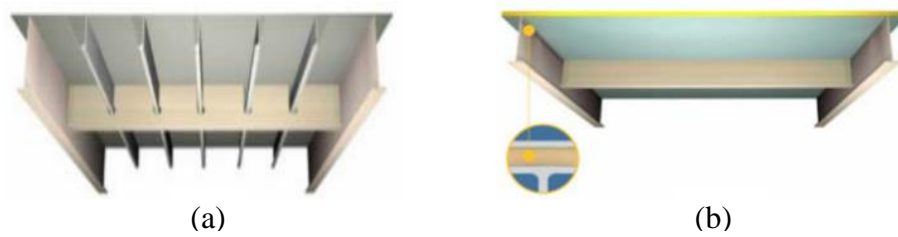
Kemudian, *Brooking & Kennedy* (2004) juga melakukan perbandingan berat antara material *Sandwich Panel* dengan material baja biasa. Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Perbandingan berat oleh *Brooking & Kennedy*

<i>Structure</i>	<i>Weight, tonnes</i>		<i>Difference</i>	
	<i>Conventional Steel Scantlings</i>	<i>Sandwich Panel Scantlings</i>	<i>tonnes</i>	<i>%</i>
<i>Double Bottom</i>	133,4	116,8	-16,6	-12,4
<i>Side Shell</i>	102,1	109,9	+7,8	+7,6
<i>Longitudinal Bulkhead</i>	24,0	22,4	-1,6	-6,6
<i>Main Deck</i>	50,3	52,0	+1,7	+3,4
Totals	309,8	301,1	8,7	-2,8

Dapat dilihat pada tabel diatas, walaupun terdapat perbedaan selisih diberbagai aplikasi *Sandwich Panel* pada konstruksi kapal, tetapi secara menyeluruh perbandingan berat *Sandwich Panel* dan material baja biasa menurun sebanyak 2,8%.

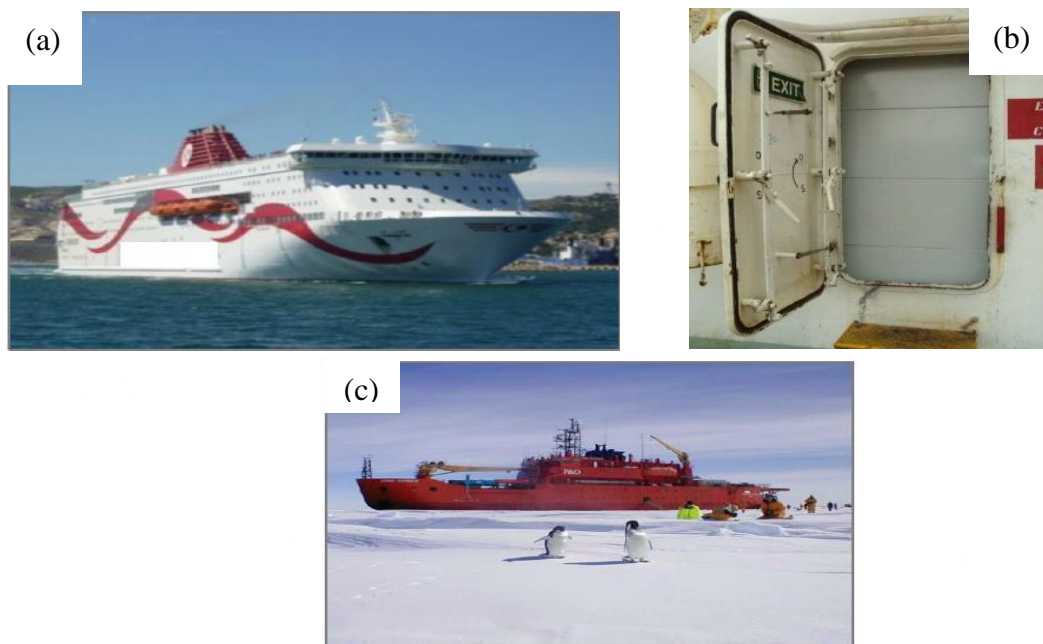
Momcilovic & Motok (2009) melakukan penelitian berat konstruksi pada 21 model *Barge* dari berbagai jenis muatan dan bentuk kombinasi konstruksi penegar dengan menggunakan material *Sandwich Panel*. Dan hasil penelitian tersebut diperoleh reduksi berat tidak lebih besar dari 15 persen, sebagian besar model *Barge* yang diteliti memberikan nilai reduksi yang bervariasi antara 5 dan 8 persen. Reduksi berat konstruksi diperoleh dengan mengurangi penggunaan penegar-penegar pada sistem konstruksi *Sandwich Panel* beberapa *barge* tersebut.



Gambar 2.4 Sistem konstruksi : (a) konvensional, (b) *sandwich panel*

Gambar 2.4 menunjukkan perbedaan antara struktur *sandwich panel* dengan struktur konvensional (a), dimana untuk *sandwich panel* (b) sudah tidak memakai penegar.

Beberapa penggunaan lain *Sandwich Panel* pada kapal baik dalam sistem konstruksinya maupun bukan yang telah di aplikasikan *Intillegent Engineering* (IE) dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.5 Penggunaan *Sandwich Panel* pada kapal (sumber: IE- *project portofolio*)

Gambar 2.5 menunjukkan penggunaan *Sandwich Panel* pada kapal yang dilakukan oleh IE dalam berbagai proyeknya.

- (a) Gambar tersebut adalah kapal penumpang yang dibangun di *Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering* dan mengaplikasikan material *Sandwich Panel* pada *deck 3* dan *deck 6* nya sebagai peredam *noise* dan getaran untuk kenyamanan penumpang.
- (b) Gambar itu menunjukkan pemasangan material *Sandwich Panel* di depan pintu akses kapal. Ini merupakan salah satu langkah keamanan kapal saat terjadi pembajakan di laut. *Sandwich Panel* ini akan dipasang secara ditumpuk hingga membentuk dinding yang mampu menahan beban *impact* maupun balistik.
- (c) Gambar diatas adalah gambar *ice breaker research vessel* milik *P&O Maritime Service Pty Ltd* yang dimodifikasi tangki bahan bakarnya dengan menggantinya menjadi material *Sandwich Panel*. Penggantian ini untuk meminimalisir kebocoran dari tangki bahan bakar akibat beban *impact* yang dapat menyebabkan bercampurnya *fuel oil* dan *ballast water*.

(*Intellegent Engineering*, 2016)

2.3. Material Core

Untuk penelitian ini, akan dikemukakan material baru yang akan dipakai sebagai material *core*, yaitu :

1. *Epoxy Resin*

Epoxy pertama kali dirumuskan pada tahun 1930-an di Amerika Serikat dan Swiss, kemudian dilakukan pengembangan lebih lanjut. Selanjutnya *epoxy* diproduksi sebagai perekat atau lem (lem *epoxy*) pada tahun 1946 dan sebagai pelapis atau cat pada tahun 1947, yang kemudian pelapis atau cat *epoxy* ini semakin dikembangkan kualitasnya dan makin ramah terhadap lingkungan.

(sumber <http://www.abadigemilang.com/epoxy/>)

Epoxy resin adalah salah satu jenis resin yang terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. *Epoxy resin* paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin

dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu, pilihan senyawa resin dan pengeras.

Beberapa persamaan nama atau istilah tentang kata *epoxy* / epoksi sebagai berikut : *Epoxy resin*, *Epoxy polimer*, *Epoxy coating*, *Cat epoxy*, *Epoxy flooring*.



Gambar 2.6 Tampak permukaan perkakas setelah dilapisi *Epoxy resin*
(sumber : <https://articulo.mercadolibre.com.ec>)

Berikut ini adalah perbandingan kelebihan dan kekurangan material *epoxy resin* dibanding *polyester resin* :

- Resin *epoxy* lebih kuat 20% dibanding resin *polyester*.
- Harga resin *polyester* jauh lebih murah dibanding resin *epoxy*.

- Resin *polyester* tidak bisa digunakan untuk melapisi atau memperbaiki benda-benda yang terbuat dari resin *epoxy* karena tidak akan merekat dengan baik.
- Resin *polyester* berbau tajam sedangkan resin *epoxy* tidak.
- Penggunaan resin *epoxy* lebih praktis dibanding resin *polyester*.
- Permukaan lapisan *polyester resin* terasa lengket sedangkan resin *epoxy* tidak demikian.
- Resin *epoxy* lebih cocok untuk melapisi permukaan yang membutuhkan kebeningan dan tidak memerlukan finishing (tampak gambar 2.6), sedangkan resin *polyester* sedikit berwarna dan membutuhkan proses *finishing*.
- Penggunaan resin *polyester* di dunia masih lebih besar 70% dibanding resin *epoxy*.
- *Polyester resin* merekat kuat pada serat aramid yaitu bahan kevlar dan badan pesawat dan resin *epoxy* lebih kuat (meskipun masih diperdebatkan).
- Resin *polyester* tidak melekat kuat pada serat karbon, tapi resin *epoxy* dapat melekat lebih kuat.
- Type resin antara *epoxy* dan *polyester* adalah resin *vinylester*.
- Resin *polyester* tidak bisa dicampur dengan resin *epoxy* karena takaran katalis yang berbeda.
- Persentase takaran resin *polyester* dan katalisnya mayoritas 1:1 atau sebanding, sedangkan takaran resin *epoxy* dan katalis 3:1. Artinya penggunaan katalis untuk *epoxy* lebih banyak.
- Katalis resin *polyester* tidak sama dengan katalis untuk resin *epoxy*.

- Resin *polyester* akan menghancurkan *styrofoam* sedangkan *epoxy* tidak.
- Resin *polyester* merusak lapisan gambar berwarna tidak seperti kebanyakan resin *epoxy*.

(sumber: <https://www.kerajinankreatif.com/2017/10/mengenal-karakteristik-resin-polyester.html>)

2. Katalis / *hardener*

Katalis berbentuk cairan jernih dengan bau menyengat. Fungsi katalis adalah sebagai katalisator agar *epoxy* resin lebih cepat mengeras. Penambahan katalis ini cukup sedikit, tergantung pada jenis resin yang digunakan. Selain itu, umur resin juga mempengaruhi jumlah katalis yang digunakan, artinya resin yang sudah lama dan mengental akan membutuhkan katalis lebih sedikit, bila dibandingkan dengan resin baru yang masih encer. Perbandingan untuk pencampuran *epoxy* resin dengan katalis yaitu 3 : 1 (gram), dimana untuk berat *epoxy* resin sebesar 3 gram dan katalis yang ditambahkan sebesar 1 gram.

3. Serbuk sekam padi

Sekam padi adalah limbah yang berasal dari proses pengelupasan kulit dari biji padi untuk diambil bagian berasnya saja. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah.

Sifat kimia sekam padi secara umum tersusun atas komponen organik dan anorganik. Komponen organik meliputi karbohidrat yang didominasi oleh selulosa dan hemiselulosa, sedangkan komponen anorganik seperti Fe, Ca, Mg, P dan lain-lain yang merupakan senyawa yang dibutuhkan dalam pertumbuhan padi.

Sekam padi biasanya dimanfaatkan untuk bahan bakar pembuatan batu bata secara tradisional atau pupuk organik untuk tanaman. Dan pemanfaatan sekam padi belum maksimal karena produksi sekam padi ini

sangat melimpah. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) untuk produksi gabah padi antara tahun 2010-2014 menghasilkan rata-rata pertahun 68,486 juta ton dan 20% -nya akan menjadi sekam (= 13,7 juta ton).

Tabel 2.3 Produksi gabah kering tahun 2010-2014

Tahun	2010	2011	2012	2013	2014
Produksi (000 ton)	66.469	65.757	69.056	71.280	69.871

Sumber diolah: http://www.pertanian.go.id/ap_pages/mod/datalimatahun.

Serbuk sekam padi yang digunakan untuk penelitian ini adalah serbuk sekam yang diperoleh dari lahan pertanian di Surabaya Barat (Jawa Timur).



Gambar 2.7 Serbuk sekam padi

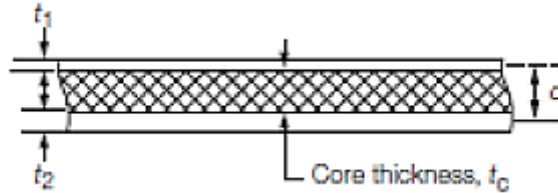
Tujuan penggunaan serbuk sekam padi pada campuran *core* sebagai berikut :

- Bahan sekam mudah diperoleh dan pemanfaatannya belum maksimal.
- Sekam mudah diubah menjadi serbuk.
- Untuk menambah kekuatan dan volume *core*.
- Untuk menaikkan nilai *damping ratio* pelat *sandwich panel*.

2.4. Perhitungan Ketebalan Pelat *Sandwich Panel*

Pembanguna kapal yang akan menggunakan *Sandwich Panel* telah diatur oleh klas LR (*Provisional Rules for The Application of Sandwich Panel*

Construction to Ship Structure), baik untuk konstruksi baru maupun konstruksi *overlay*, termasuk standarisasi ketebalan minimum pelat *Sandwich Panel* untuk pelat logam atas (*top plate thickness*), bawah (*bottom plate thickness*), serta inti *elastomer* (*core thickness*).



Gambar 2.8 *Steel sandwich panel scantling definition*

Beberapa simbol yang digunakan untuk aturan pada penggunaan konstruksi *sandwich panel* :

a = Panjang panel terpanjang, (mm)

b = Lebar panel terpendek, (mm)

$d = 0,5(t_1 + t_2) + t_c$, (mm)

D = *Flexural rigidity sandwich*, (mm)

$$= \frac{E_f t_1 t_2 d^2}{(t_1 t_2)}$$

E_f = Modulus elastisitas *top* dan *bottom plate* (Mpa), steel = 200.000 Mpa

G_c = Desain modulus geser minimum pada material *core*, (Mpa)

t_1 = tebal *top plate*, (mm)

t_2 = tebal *bottom plate*, (mm)

ta_1 = tebal yang diberikan, *top plate*, (mm)

ta_2 = tebal yang diberikan, *bottom plate*, (mm)

t_c = tebal *core elastomer*, (mm) dan ketebalan minimum core (t_c) 15 mm,

ν = Poisson rasio, 0,3.

Untuk konstruksi baru pada penggunaan *Sandwich Panel* indeks kekuatan (R), dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$R = 0.01 A_R 0.1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11.7 \left(\frac{b t_c}{d^2} \right)^{1.3} \right] k P_{eq,R} \quad (2.1)$$

Dimana :

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0.65}$$

$$P_{eq, R} = 0,0017 \frac{Z_{rule}}{l^2} , \text{ (Mpa)}$$

l = panjang panel, (m)

$$Z_{rule} = \text{Equivalent section modulus, (cm}^3\text{)}$$

k = faktor bahan.

Indeks kekuatan untuk panel baja *sandwich* harus sesuai dengan $R \leq 1$

Penentuan ketebalan dari penggunaan *Sandwich Panel* untuk t_1 , t_2 dan t_c dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.1) dengan meng-input-kan parameter nilai ketebalan pelat dan *elastomer*. Untuk *equivalent section modulus* dihitung berdasarkan perhitungan yang digunakan pada kapal *eksisting*.

Tabel 2.4 Ketebalan minimum *top plate* (t_1) dan *botom plate* (t_2)

Item	Ketebalan minimum (mm)	
	Konstruksi baru	<i>Overlay construction</i>
t_1 MIN	3,0	3,0
t_2 MIN	3,0	50% of the as-built thickness

Tabel 2.4 menunjukkan syarat ketebalan minimum untuk penggunaan *faceplate* adalah 3 mm, baik untuk *top* atau *bottom plate* pada material *sandwich panel*.

Tabel 2.5 Ketebalan minimum yang diijinkan

Struktur	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
<i>Bottom shell</i>	1	0	1
<i>Side shell</i>	1	0	1
<i>Inner bottom, hopper plating</i>	2	1	1
<i>Inner bottom at crown of tank</i>	3.5	1	2.5
<i>Strength deck</i>	2.5	2.5	0.0

<i>Internal deck</i>	0	0.0	0.0
<i>Superstructure deck</i>	0	0.0	0.0
<i>Watertight bulkheads</i>	0	0.0	0.0
<i>Deep tank bulkheads</i>	2.5	0.0	2.5
<i>Deep tank crown which is also a deck</i>	3.5	1.0	2.5
<i>Vehicle deck clear of tanks</i>	2	2	0

Tabel 2.5 menunjukkan nilai ketebalan ijin dalam kalkulasi ketebalan *faceplate* untuk tiap posisi konstruksi.

2.5. Standar Pengujian Material *Sandwich Panel*

LR, (2006) mengatur standarisasi pengujian material *sandwich panel*, baik untuk persyaratan *core material* hingga kriteria persyaratan *sandwich panel* yang digunakan. Standarisasi pengujian dan kriteria nilai hasil pengujian ditetapkan pada tabel 2.6 dibawah ini :

Tabel 2.6 Standarisasi pengujian dan kriteria *sandwich panel*

Property	Test Standard	Number of parallels	Acceptance criteria
			LR
Density	ISO 845	Min. 5	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT
Hardness	DIN 53505 ASTM D2240	Min. 5	Shore D ≥ 65 at RT
Tensile Strength	ISO 527 ASTM D412	Min. 5	$\geq 20 \text{ MPa}$ at RT
Tensile Modulus			$\geq 5 \text{ MPa}$ at $+80^\circ\text{C}$
Elongation at break			Min. 10% at -20°C Min. 20% at RT
Compressive Strength	ISO 604 ASTM D575	Min. 5	-
Compressive Modulus			-
Shear Modulus	Torsion Pendulum Test - -20°C to $+80^\circ\text{C}$, or $+80^\circ\text{C}$ only DIN EN ISO 6721-2	Min. 5	$G \geq 312-2,4T$ ($^\circ\text{C}$)
Bond shear	ASTM D429-81	Min. 5	$\geq 2,7 \text{ MPa}$ (shot

strength			blasted) ≥4 MPa (grift blasted)
Bond shear strength from beam flexure	ASTM C393	Min. 5	-

Sumber : LR (2006)

2.5.1. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk menentukan kepadatan dari material *sandwich panel* yang dibuat berdasarkan ISO 845. Dimensional spesimen uji dibentuk dengan jelas untuk memudahkan dalam perhitungan volume. Ukuran spesimen setidaknya memiliki total volume paling sedikit 100 cm³. Spesimen benda uji dibuat minimal 5 spesimen.

Spesimen yang dibuat, setidaknya menunggu 72 jam setelah pembuatan dan sebelum pemotongan spesimen dilakukan. Spesimen harus disimpan setidaknya selama 16 jam pada keadaan atmosfer standard atau dalam kondisi kering. Pengukuran dimensi dalam satuan (mm), dengan membuat minimal tiga pengukuran yang terpisah dari masing-masing dimensi. Untuk bahan yang kaku dalam bentuk papan, setidaknya dilakukan lima pengukuran pada daerah pusat dan menghitung rata-rata untuk setiap dimensi.

Densitas, ρ dari benda uji diberikan dalam satuan kg/m³, yang diperoleh dari persamaan berikut :

$$\rho = m / V \quad (2.2)$$

Dimana :

m = massa, untuk spesimen uji (gram)

V = volume spesimen uji (mm³)

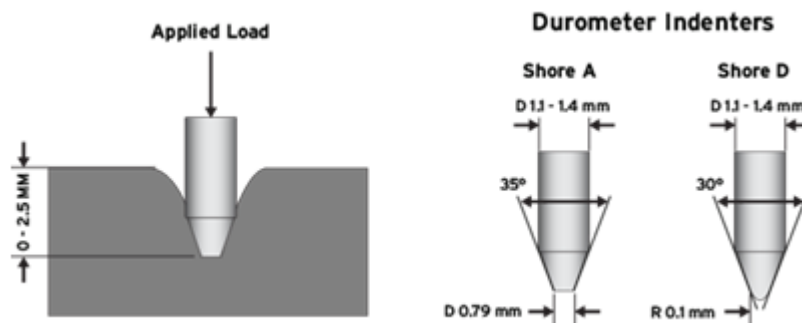
Nilai densitas, ρ dihitung rata-rata dari setiap densitas yang dihasilkan pada tiap spesimen.

2.5.2. Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material. Dua skala yang

paling umum, dengan menggunakan sistem pengukuran yang sedikit berbeda, adalah timbangan tipe A dan tipe D ASTM D2240. Skala A adalah untuk plastik lembut, sedangkan skala D untuk yang lebih keras. Pengujian kekerasan atau *hardness* menggunakan standard ASTM D-2240, dimana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan material *core* yang digunakan. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*).

Uji kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan durometer yaitu suatu alat untuk mengukur tingkat kekerasan dari bahan. Metode pengujian ini didasarkan pada penetrasi dari identor jenis tertentu ketika dikenakan gaya kedalam bahan dalam kondisi tertentu. Lekukan kekerasan berbanding terbalik dengan penetrasi dan tergantung pada modulus dan viskoelastis dari perilaku elastis material itu sendiri (ASTM D2240). Beberapa bahan yang dapat diuji oleh durometer yaitu, ada yang digunakan untuk karet, plastik, pipa, kayu dan lain – lain. Pada penelitian ini menggunakan durometer Shore D karena material *core* yang akan diuji termasuk material yang getas atau keras.



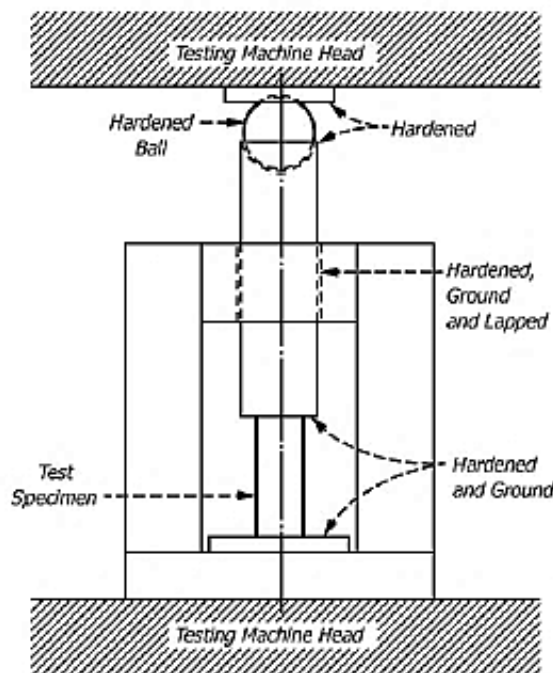
Gambar 2.9 Bentuk identer pada *Shore D* dan *A*

(sumber : <http://www.ndt-indonesia.com/metode-dan-skala-ukur-pada-shore-hardness-tester-durometer-145>)

Pada gambar 2.9 dapat dilihat bentuk dari identer/penekan pada *Shore D*, dimana identer berbentuk runcing pada ujungnya, sedangkan *shore A* lebih tumpul.

2.5.3. Pengujian Tekan (Compressive Test)

Pengujian tekan atau *compressive strength test* dilakukan sesuai standard ASTM D695. Uji tekan atau *compressive strength test* adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu secara lambat. Alat untuk pengujian tekan seperti pada Gambar 2.10, alat uji ini sesuai dengan standar yang telah ditentukan.



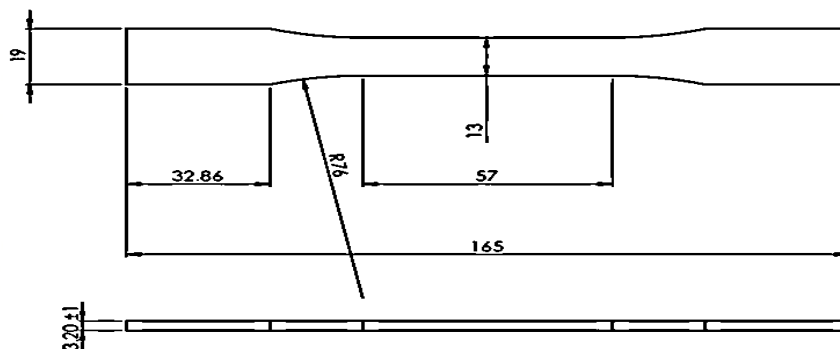
Gambar 2.10 *Compression tool*

Tes spesimen pada pengujian lentur sesuai standar ASTM D695 adalah berbentuk silinder atau prisma, yang mana panjang dari specimen adalah dua kali dari lebar atau diameter. Ukuran spesimen yang disarankan adalah 12.7 mm dengan 12.7 mm dengan 25.4 mm (0.5 inchi dengan 0.5 inchi dengan 1 inchi) untuk bentuk specimen prisma atau 12.7 mm pada diameter dengan 25.4 mm untuk bentuk silinder. Minimum jumlah tes spesimen yang diuji yaitu lima spesimen. Untuk perhitungan *compressive strength* yaitu seperti pada persamaan 2.2, *maximum compressive load* dibagi dengan *minimum cross sectional area*.

$$\text{Compressive strength} = \frac{\text{maximum compressive load}}{\text{minimum cross sectional area}} \quad (2.3)$$

2.5.4. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material yang diuji. Untuk pengujian material *core* akan dibuat spesimen benda uji yang merujuk standard ASTM D638 untuk material plastik dan karet seperti tampak pada Gambar 2.11 berikut ini :



Gambar 2.11 Ukuran spesimen uji tarik

Tegangan tarik yang dihasilkan dari pembebanan tarik pada spesimen uji tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma_{tk} = F/A \quad (2.4)$$

Dimana :

F = Gaya yang diamati, (N)

A = Luas penampang dari bidang spesimen yang tertarik, (mm²)

σ_{tk} = Tegangan tarik, kekuatan tarik material, (Mpa)

Sedangkan, elongasi yang terjadi dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$Elongation, (\%) = \frac{(L-L_0)}{L_0} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

Dimana :

L = Jarak dari pertambahan panjang material (mm)

L_0 = Jarak hasil dari panjang pengukuran awal (mm)

Sedangkan untuk reduksi pada daerah yang putus akibat pembebanan tarik diperhitungkan dengan persamaan berikut ini :

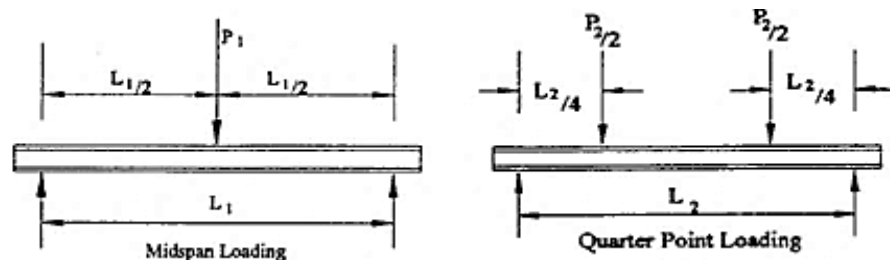
$$Reduction\ in\ area,(\%) = \left(\frac{S_0 - S_u}{S_0}\right).100\% \quad (2.6)$$

Dimana :

S_0 , merupakan pengukuran terkecil untuk luasan penampang setelah spesimen putus. dengan nilai modulus elastisitas, E_f didapatkan dari tegangan tarik yang dihasilkan dibagi dengan regangan yang terjadi ($\Delta L/L_0$).

2.5.5. Pengujian Lentur

Pengujian lentur dilakukan pada spesimen *sandwich panel* untuk mengetahui kondisi material terhadap pembebanan lentur berdasarkan nilai tegangan tekan dan defleksi atau lendutan yang terjadi. Spesimen benda uji yang dibuat harus dalam bentuk persegi panjang dengan ketebalan *sandwich panel* berdasarkan hasil perhitungan ketebalan, dengan lebar dari spesimen tidak kurang dari 2 kali total ketebalan atau tidak lebih dari 1,5 panjang bentang. Sedangkan panjang dari spesimen merupakan panjang bentang yang ditambahkan 50 mm. Bentuk pengujian lentur yang diberikan oleh ASTM C393, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut ini :



Gambar 2.12 Titik pembebanan tunggal dan ganda

(ASTM C 393, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*)

Gambar 2.12 menunjukkan dua tipe pengujian dari pembebanan tunggal pada spesimen dan pembebanan ganda, dengan aturan jarak posisi pembebanan yang diberikan pada tiap tipe pengujian yang dilakukan.

Tegangan geser *core*, pada pembebanan tunggal (*midspan loading*), dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{P}{(d-c)b} \quad (2.7)$$

Dengan tegangan lentur, *midspan loading*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{lt} = \frac{PL}{2t(d+c)b} \quad (2.8)$$

Dimana :

τ = tegangan geser *core* (MPa)

σ_{lt} = tegangan lentur (MPa)

P = beban (N)

d = ketebalan *sandwich* (mm)

c = ketebalan lapisan *core* (mm)

b = lebar *sandwich* (mm)

L = panjang bentang (mm)

Defleksi atau lendutan spesimen dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (2.9)$$

Dimana :

Δ = total defleksi bidang tengah bentang (mm)

G = modulus geser inti, lihat (G_c , bab 2), (MPa)

E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)

D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)

$U = \frac{G(d+c)^2b}{4c}$, (N)

Dengan nilai kekakuan lentur untuk lapisan luar yang sama, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

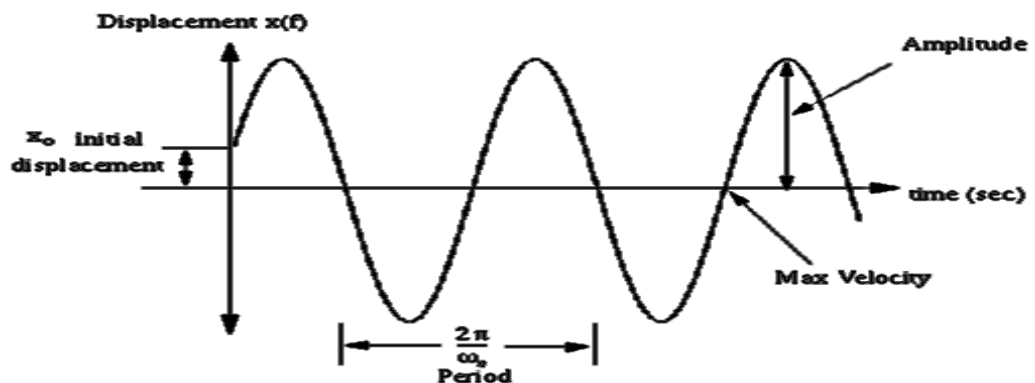
$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (2.10)$$

2.6. Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik dimana osilasi terjadi diantara titik keseimbangan. Osilasi adalah peristiwa berayunnya suatu benda untuk mencapai titik keseimbangannya. Dan kuat-lemahnya gerakan ini dipengaruhi besar kecilnya energi yang diberikan. Pada banyak contoh kasus, rata-rata getaran

merupakan sesuatu yang tidak diinginkan, membuang-buang energi, dan merupakan penghasil suara yang tidak diinginkan. Contoh misalnya adalah gempa bumi, getaran pada mesin atau bangunan struktural. Tetapi getaran juga dapat menjadi berguna di berbagai tempat, seperti getaran pada harmonika, *handphone*, komponen *loudspeaker* dan lain-lain.

Frekuensi natural adalah saat dimana sebuah sistem mengalami *displacement* yang sangat besar akibat getaran walaupun gaya yang bekerja sangat kecil. Setiap sistem mempunyai frekuensi naturalnya masing-masing. Saat sistem tersebut bergetar pada frekuensi naturalnya. Itulah yang disebut sebagai resonansi. (Goldman, S. 1999)



Gambar 2.13 Undamped vibration (sumber <http://www.mfg.mtu.edu>)

Pada gambar diatas dapat dipahami bahwa waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* disebut sebagai periode dengan satuan detik/*cycle*. Apabila $t = T$ maka, $x(t) = A$. Dengan formula :

$$x(t) = A \cos \sqrt{(k/m)} T$$

dimana A = Amplitudo

sehingga persamaan akan menjadi

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}}$$

Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi dalam satu detik, atau kebalikan dari periode, yaitu:

$$f = \frac{1}{T} \text{ cycle/detik, atau biasa disebut Hertz, disingkat Hz. Dengan demikian,}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

dengan demikian, dapat ditulis juga :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ dimana } \omega \text{ merupakan frekuensi natural.}$$

(Thompson W.T. 2003)

2.6.1. Damping Ratio

Benda yang mengalami getaran lama kelamaan akan berusaha kembali ke titik keseimbangannya. Secara perlahan benda akan berkurang amplitudonya hingga *displacement* benda tersebut menjadi nol. Hal yang mempengaruhi pengurangan *displacement* ini adalah redaman. Di dalam redaman, terdapat hal yang dinamakan *damping ratio*. *Damping ratio* adalah parameter yang tidak memiliki dimensi sebagai perbandingan antara *damping* yang terjadi dengan *critical damping* yang diharapkan pada benda tersebut. Jadi *damping ratio* dapat dituliskan seperti persamaan berikut.

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.11)$$

Dimana:

ζ = *damping ratio*

C = *actual damping*

c_c = *damping kritis*

2.6.2. Frekuensi Natural

Sebuah struktur apabila digetarkan maka akan terjadi osilasi pada frekuensi natural (ω) yang merupakan milik sistem itu sendiri, frekuensi natural juga dipengaruhi oleh kekakuan dan massa. Perhitungan matematis frekuensi natural getaran didapat dari persamaan (Thomson 1980).

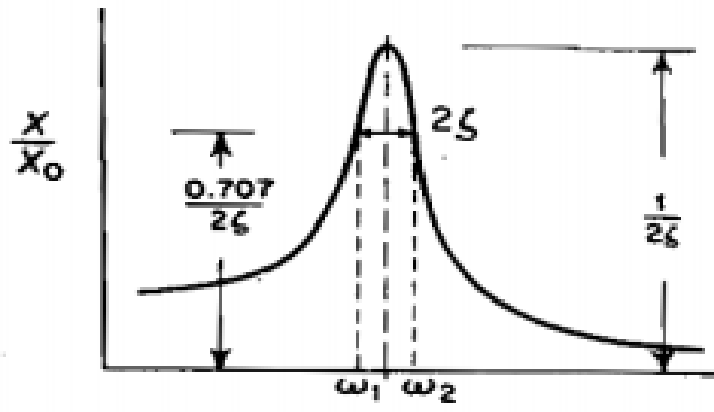
$$\omega_n = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.12)$$

Nilai dari $(\beta_n l)$ tergantung dari kondisi tumpuan, untuk batang dengan kondisi tumpuan menggunakan persamaan (Thomson 1980).

2.6.3. Menentukan Rasio Redaman (*Damping Ratio*)

Untuk mengestimasi redaman, lokasi dari ω_a dan ω_b harus ditentukan terlebih dahulu untuk setiap sisi dari puncak *spectrum* yang ingin diidentifikasi. Posisinya adalah sebuah titik dengan *amplitude* $\frac{\omega_{max}}{\sqrt{2}}$. Kemudian *damping ratio* dapat di estimasi menggunakan formula sebagai berikut:

$$\zeta_r = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_r} \quad (2.13)$$



Gambar 2.14 Penentuan estimasi redaman, *half power bandwidth*

(Thompson,1980)

2.6.4. Modal Analysis

Prosedur dalam pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan estimasi nilai redaman, bentuk getaran, dan frekuensi naturalnya mengikuti *Modal Analysis*. Pengertian *modal analysis* adalah proses dalam menentukan karakteristik material yang telah ada pada material tersebut dalam bentuk frekuensi natural, faktor *damping*, *mode* getaran dan menggunakannya untuk perhitungan matematis lebih lanjut. *Mode* natural dari struktur tersebut telah ada dalam material dan sepenuhnya ditentukan berdasarkan karakteristik fisiknya (*massa*, kekakuan, *damping*). Masing-masing *mode* juga memiliki natural frekuensinya masing-masing.

Pada dua dekade terakhir modal analisis telah menjadi suatu teknologi untuk menentukan, memperbaiki, dan mengoptimasi karakteristik dinamis dari sebuah struktur teknik. Tidak hanya dikenal pada bidang mekanikal dan aeronautika saja, tetapi *modal analysis* sudah diaplikasikan pada beberapa bidang seperti sipil dan struktur bangunan, masalah biomekanikal, struktur luar angkasa, instrumen akustikal, transportasi, dan pembangkit nuklir.

Dengan semakin dibutuhkannya informasi tentang perilaku dinamis dari sebuah struktur teknis, proses desain yang dibutuhkan juga harus berbeda. Komputer *modelling finite element* saat ini telah menyediakan *tools* yang mendukung terjadinya proses analisa dinamis. Tetapi, *modelling* dengan komputer tidak bisa menentukan tentang perilaku dinamis material secara keseluruhan. Ini karena ada beberapa karakteristik material yang tidak bisa dimasukkan ke dalam program seperti *damping* dan *nonlinearity* material.

Modal analysis dapat diterapkan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah:

a) *Troubleshooting*

Troubleshooting menggunakan modal analisis secara eksperimen dapat dilakukan pada struktur dinamis yang diteliti. Metode ini populer dalam aplikasi desain sebuah struktur karena kemudahannya. Hasil yang didapatkan tentu saja natural frekuensi, factor *damping*, dan bentuk *mode* getaran.

b) Metode validasi

Banyak aplikasi dari struktur dinamis bergantung pada *model* matematisnya yang akurat. *Model-model* tersebut bias dibuat menggunakan *model* elemen hingga (FEM). Tetapi, sesungguhnya sangat tidak masuk akal jika metode FEM ini merepresentasikan struktur sesungguhnya. Ini karena banyak factor yang bisa berpengaruh pada material asli dibandingkan dengan kondisi pada *model*. Oleh karena itu sebuah analisa eksperimen dapat digunakan untuk “membenarkan” sebuah FE *model*.

c) Modifikasi structural

Perubahan structural dapat berpengaruh besar terhadap *massa*, kekakuan atau peredaman sebuah struktur dinamis. Penggunaan dari

modal analysis jika dilakukan dalam struktur tersebut akan dapat digunakan dan di manfaatkan sesuai dengan tujuan desain tersebut.

d) Deteksi kerusakan struktur

Pendeteksian kerusakan struktur yang tidak bisa dilihat sudah menjadi prioritas dalam bidang industry. Hal ini sudah banyak dilakukan pada bidang penerbangan dan luar angkasa. Sekarang, aplikasi ini banyak dilakukan pada bidang konstruksi sipil, contohnya jembatan.

Praktek umum dilakukan dengan menguji sebuah benda saat dalam kondisi sempurna atau awal. Kemudian setelah kerusakan struktur terjadi pengujian kembali dilakukan untuk menunjukkan perubahan data dari modal analisis. (He Jimin, 2001)

2.6.5. Experiment Modal Analisis

Experimental Modal Analysis (EMA) telah menjadi pengujian yang populer sejak pengembangan digital FFT *spectrum analyzer* pada awal 1970. Pengujian benturan (*bump testing*) telah digunakan secara luas dan ekonomis untuk menemukan mode getaran pada mesin atau struktur. EMA merupakan penentuan frekuensi alami, mode getar, dan rasio redaman dari pengukuran vibrasi secara eksperimen.

Pengujian modal analisis secara eksperimen bertujuan untuk mendapatkan data *frequency response function* (FRF) dari sebuah struktur. Metode ini digunakan untuk eksitasi sebuah struktur dengan input gaya tertentu dan diukur baik gaya maupun respon dari struktur tersebut. Sebagai hasilnya, data yang diperoleh dari FRF biasa digunakan lebih lanjut untuk berbagai kepentingan teknis (He Jimin, 2001).

Pada pengujian laboratorium, ada pengaturan yang lazim di pakai. Biasanya pengujian ini terdiri dari tiga komponen. Seperti *single input* dan *single output*. Pada bagian pertama berfungsi untuk menciptakan gaya eksitasi dan diaplikasikan pada test struktur. Bagian kedua digunakan untuk mengukur dan mendapatkan data tentang respon. Sedangkan pada bagian ketiga fungsi untuk

memproses signal yang dihasilkan bagian satu dan bagian dua untuk menghasilkan data dari pengujian itu sendiri.

Sebagaimana telah disebutkan, bagian pertama berfungsi sebagai mekanisme eksitasi yang digunakan sebagai gaya untuk memberikan *amplitude* dan frekuensi tertentu kepada struktur. Ada beberapa macam jenis peralatan eksitasi yang biasa digunakan dalam percobaan. Yang paling lazim digunakan adalah *shaker* dan *hammer*. Peralatan dengan jenis *hammer*, termasuk dalam jenis eksitasi secara *impact*. Eksitasi jenis ini adalah jenis yang paling mudah digunakan dan di aplikasikan. Peralatan lain yang berpengaruh pada pengujian ini adalah *accelerometer*, berfungsi untuk mengukur percepatan yang terjadi pada material dan *output signal* dalam bentuk voltase. Sinyal inilah yang kemudian ditransfer menuju *analyser*. *Accelerometer* tidak bisa memproses data tentang karakteristik material, semisal *linearity*, hanya dua aspek yang bisa diproses datanya, yaitu *frekuensi* dan *amplitudo*. Jenis *accelerometer* yang paling banyak digunakan adalah *piezoelectric* (He Jimin, 2001).

2.6.6. Fourier Transform

Fourier transform sudah menjadi hal yang sangat dasar dalam modal analysis. Banyak peneliti percaya bahwa *Fourier Transform* adalah landasan dari *modal analysis* itu sendiri. Tanpa itu, *modal analysis* hanya akan tetap menjadi konsumsi akademik saja. Salah satu fungsi utama adalah mengubah spectrum hasil pengujian getaran dari *time domain* menjadi frekuensi domain (dan sebaliknya). Data yang didapat merupakan sebuah data yang sama, hanya saja penyajiannya yang berbeda. Berikut adalah formula dari *Fourier Transform*:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.14)$$

Dimana:

$X(f)$ = fungsi spectrum pada frekuensi domain

$X(t)$ = fungsi spectrum pada *time domain*

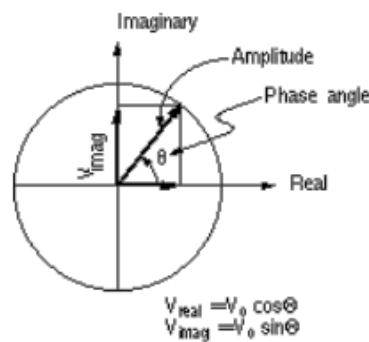
$i = \sqrt{-1}$

Ω = frekuensi (Hz)

t = waktu (sec)

2.6.7. Sudut Fase

Sudut fase adalah derajat dimana sebuah gelombang terjadi. Hal ini menjadi penting diperhatikan dalam eksperimen modal analysis, karena salah satu fungsi sudut fase adalah mengetahui kekakuan keseluruhan struktur. Jika sudut fase bernilai positif (+) maupun negative (-) pada frekuensi natural antara material uji dan dudukan maka dapat diasumsikan bahwa dudukan sudah memiliki nilai kekakuannya, ini berarti antara material dan dudukan bergetar pada arah yang sama. Jika nilai antara keduanya berbeda, perlu dilakukan pengecekan ulang tentang proses setting dudukan maupun material uji. Ilustrasi sederhana dari sudut fase seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.15 Ilustrasi sudut fase (<http://www.ansys.stuba.sk>)

Pada saat spectrum gelombang pada frequency domain mencapai amplitud (disimbolkan dengan V pada gambar diatas) garis V diatas di ubah menjadi vector yang mewakilinya pada garis x (Vreal) dan y (Vimaginary). Kemudian teori trigonometri sederhana diaplikasikan untuk mengetahui sudut fase spectrum pada amplitudonya.

Jika :

$$V_{real} = V \cos \theta$$

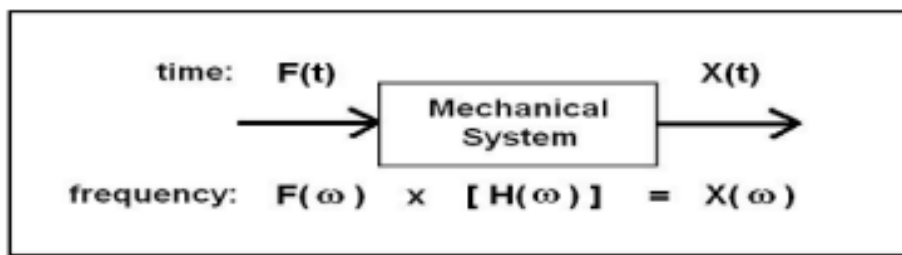
$$V_{imaginary} = V \sin \theta$$

Maka, θ (sudut fase) dapat dicari dengan formula :

$$\theta = \tan^{-1}(V_{imaginary}/V_{real}) \quad (2.15)$$

2.6.8. Noise Effect

Dalam semua percobaan, *noise* akan selalu muncul pada proses baik *input* maupun *output*. Untuk frekuensi yang mendekati resonansi, respon getaran sangatlah signifikan dibandingkan yang lain, sehingga *noise* bisa diabaikan. Tetapi, *noise* sangatlah mengganggu pada frekuensi selain itu. Maka untuk mengukur keakuratan data, perlu dilakukan perhitungan kembali sebagai ukuran dari keandalan data yang telah diambil pada penelitian. Sebuah percobaan dapat disederhanakan menjadi gambar di bawah ini:



Gambar 2.16 *Modal testing* secara umum dari FRF (Schwarz, 1990)

Hal ini berhubungan dengan nilai *coherence*. *Coherence* adalah metode pengukuran valid data dari FRF yang menyatakan baik buruknya sebuah pengolahan data tersebut. Skala *coherence* dinyatakan dari 0 hingga 1. Nilai 1 melambangkan bahwa hubungan antara *input* dan *output* adalah linier dan merupakan sebuah data yang baik. Sedangkan nilai selain satu mengindikasikan bahwa pengujian telah dipengaruhi oleh *noise*, nilai selain 1 juga bisa diakibatkan oleh kesalahan pengolahan data. Semakin mendekati 0, kualitas data yang diolah bisa dinyatakan semakin buruk. Formula *coherence* ($\gamma_{FX}^2(\omega)$) dinyatakan dengan:

$$\gamma_{FX}^2(\omega) = \frac{|S_{FX}(\omega)|^2}{S_{FF}(\omega)S_{XX}(\omega)} \quad (2.16)$$

Dimana:

$S_{FX}(\omega)$ = spektrum daya silang dari sinyal masukan dan keluaran

$S_{FF}(\omega)$ = spektrum daya diri dari sinyal masukan $f(t)$

$S_{XX}(\omega)$ = spektrum daya diri sinyal keluaran $x(t)$

2.6.9. Referensi Penelitian *Modal Analysis* pada Material *Sandwich Panel*

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam penelitian kali ini. *Kumar Jha, (2007)* melakukan penelitian tentang material *sandwich* yang diuji menggunakan teori *modal analysis*. Pada penelitian itu, *faceplate* yang digunakan adalah aluminium dengan *core* juga berbahan aluminium namun berbentuk konstruksi *honeycomb*. Penelitian dilakukan dengan variasi kondisi jepit dari material dan dilakukan dengan tiga metode, *experimental*, *analytical*, dan *software analysis*. Dengan maksimal *error* yang didapat dari penelitian tersebut adalah 9%.

Jovanovic, (2012) dan *Waily, (2013)* melakukan eksperimen mengenai pendeteksian kerusakan pada material menggunakan metode *modal analysis*. Pada penelitian tersebut, ditemukan tren yang sama. Yaitu semakin besar cacat yang terdapat pada sebuah material, frekuensi natural yang dimiliki benda tersebut akan semakin turun. Lebih lanjut *Waily, (2013)* melakukan verifikasi menggunakan *software* ANSYS, dan didapatkan hasil *error* yang tidak terlampaui jauh dengan hasil penelitian eksperimen.

Winahyu, (2017) melakukan penelitian berikan dengan getaran pada material *Sandwich Panel* dengan kerusakan tunggal pada material intinya. Nilai verifikasi keseluruhan percobaan yaitu perbedaan hasil percobaan baik melalui eksperimen maupun analisa model. Disini, hasil eksperimen menjadi patokan pada proses verifikasi. Ini dikarenakan pada eksperimen merupakan representasi keadaan sebenarnya. Nilai perbedaan maksimal yang terdapat pada keseluruhan percobaan adalah 7,37%, beda ini didapat pada percobaan *sandwich* cacat penuh pada material 6-30-6. Rata-rata perbedaan hasil penelitian ini secara keseluruhan hanya 1,52%.

Windra (2017), juga melakukan pengujian getaran dan menunjukkan bahwa pengaruh adanya cacat pada material inti *Sandwich Panel* dapat menurunkan nilai rata-rata frekuensi natural material *sandwich panel* sebesar 1,64%.

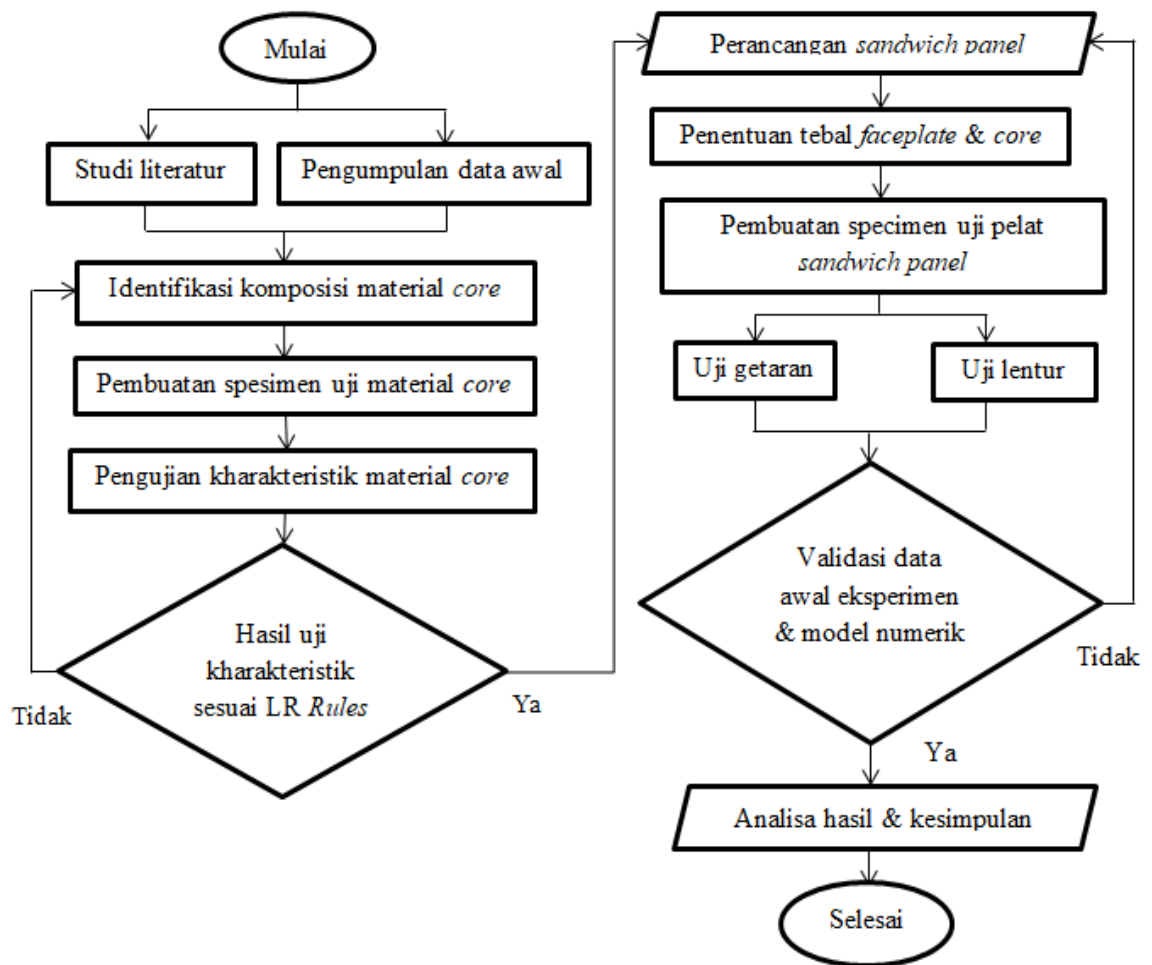
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti alur pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. Studi Literatur

Untuk penelitian ini, agar memperoleh hasil yang diharapkan maka perlu didahului beberapa kajian pustaka. Dan kajian tersebut dapat diperoleh dari beberapa sumber diantaranya melalui jurnal, *paper*, buku, internet, penelitian sebelumnya, pendapat para ahli dan lain sebagainya.

3.3. Pengumpulan Data Awal

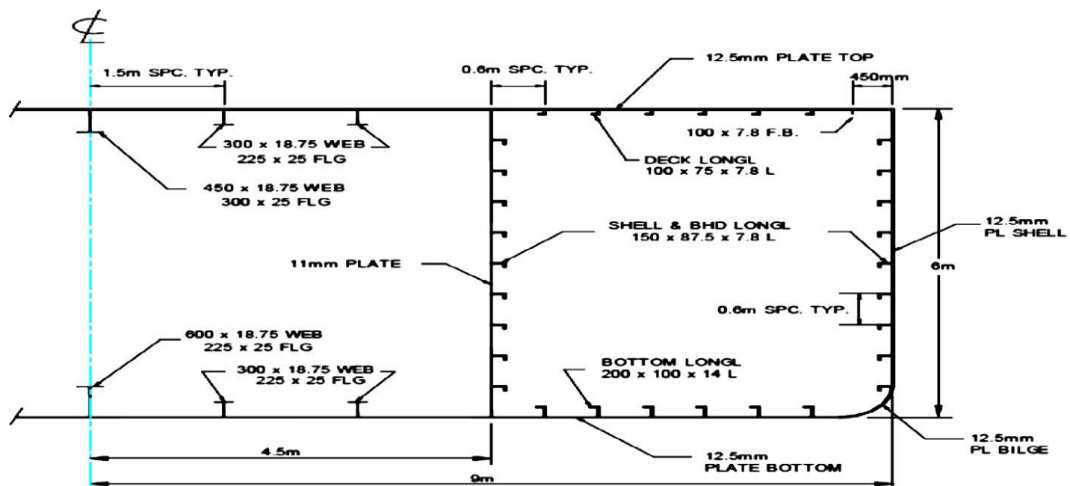
Untuk data awal penelitian ini adalah mendapatkan kajian atau teori-teori tentang *sandwich panel* baik dari *paper*, jurnal, internet maupun penelitian-penelitian sebelumnya. Data-data awal yang sangat diperlukan dalam penelitian ini diantaranya adalah data tentang material *sandwich panel* dan aplikasinya, serbuk sekam padi, material *epoxy resin*, *rules* atau peraturan-peraturan tentang pelat *Sandwich Panel* dari *Class*, standar pengujian material dan kapal pemanding.

Untuk mendapatkan gambaran aplikasi pelat *Sandwich Panel* ini maka perlu di modelkan penggunaannya dalam kapal pemanding. Data-data kapal pemanding ditunjukkan Tabel 3.1 berikut..

Tabel 3.1 *Principle dimension* kapal ponton

Keterangan	Ukuran
<i>Type</i>	<i>Barge / ponton</i>
<i>Length Over All, (LOA)</i>	60 meter
<i>Length Between Perpendicular, (LPP)</i>	60 meter
<i>Breadth, (B)</i>	18 meter
<i>Height, (H)</i>	7 meter
<i>Draught, (T)</i>	4.6 meter
<i>Maximum design speed</i>	5 knot
<i>Light weight</i>	1428 T
<i>Light KG</i>	240 m
<i>Light LCG</i>	27 m fwd AP

Gambar 3.2 adalah bentuk separuh penampang melintang kapal ponton beserta ukuran pelat dan profil yang akan digunakan untuk mengetahui nilai modulus penampang yang akan jadi *input*-an dalam menentukan ketebalan *faceplate* dan *core sandwich panel*.



Gambar 3.2 Penampang melintang kapal ponton

3.4. Metode Identifikasi Material Core

3.4.1. Pengumpulan Material Serbuk Sekam Padi

Proses pembuatan serbuk sekam padi yang akan dimanfaatkan untuk bahan campuran atau pengisi (*filler*) dengan *epoxy resin* (*matrix*), akan diproses dengan tahapan :

1. Penggilingan sekam padi menjadi serbuk,
2. Penyaringan serbuk sekam dengan saringan berukuran *mesh* 50 untuk mendapatkan serbuk sekam yang lebih halus,
3. *Treatment* serbuk sekam
4. Dan serbuk sekam ini siap dicampur dengan *epoxy resin*.

3.4.2. Penyaringan Serbuk Sekam Padi

Serbuk sekam padi untuk penelitian ini adalah serbuk sekam yang diperoleh dari penggilingan padi lokal yang ada di daerah Surabaya barat. Serbuk sekam yang telah diperoleh biasanya masih tercampur dengan yang kasar. maka perlu dilakukan penyaringan/pengayakan. Dan serbuk sekam yang diambil adalah serbuk yang lolos saringan/ayakan pada ukuran *mesh* 50. Arti ayakan *mesh* 50 ini adalah terdapat 50 lubang pada bidang jaring atau kasa seluas 1 inchi, dan diameter lubang 0,297 milimeter.



(a)

(b)

Gambar 3.3 Penyaringan serbuk sekam padi:

(a) ayakan *mesh* 50, (b) mesin getar

Gambar 3.3 adalah proses penyaringan serbuk sekam yang dilakukan dengan cara serbuk sekam dimasukkan kedalam saringan bertingkat dari yang teratas dengan ukuran *mesh* 20, 30, 50, 100 dan 200. Kemudian ayakan digerakan dengan mesin getar seperti tampak Gambar 3.3(b) yaitu ayakan diletakkan diatas mesin getar. Dengan getaran mesin yang timbul, maka ayakan dan serbuk sekam akan ikut bergerak dan serbuk sekam akan jatuh kebawah melewati lubang ayakan akibat pengaruh gaya gravitasi bumi.

3.4.3. *Treatment* Serbuk Sekam Padi

Serbuk sekam ini berasal dari tumbuhan padi dan rentan mengalami pembusukan secara mekanis maupun biologis, baik karena kelembaban atau karena serangan jamur. Agar tidak terjadi pembusukan maka perlu dilakukan *treatment*. Gambar 3.4 menunjukkan bentuk *treatment* material serbuk sekam yaitu dengan memanaskan serbuk sekam padi kedalam *oven* dengan suhu 100⁰ C selama 3 jam, sehingga kandungan kadar air dalam serbuk sekam menjadi berkurang.



Gambar 3.4 Pengeringan material serbuk sekam dalam oven

Untuk mengetahui perubahan persentase kandungan air didalam serbuk sekam, maka material serbuk sekam yang akan di-*treatment* terlebih dahulu ditimbang dan sesudah di-*treatment* material serbuk sekam ditimbang kembali. Dari selisih berat sebelum-sesudah di-oven maka persentase berat penyusutan kadar air yang terkandung didalam serbuk sekam akan dapat diketahui.

3.4.4. Pengujian Komposisi Kimia Serbuk Sekam Padi

Pengujian komposisi yang dilakukan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung didalam serbuk sekam padi yang digunakan. Dan alat yang akan digunakan uji komposisi ini menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Analisis unsur dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan, sedang analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.

3.4.4. Pembuatan Material Core

Bahan-bahan dan peralatan untuk membuat material *core* yang akan digunakan pada penelitian ini terdiri atas :

1. Bahan : serbuk sekam, *epoxy resin*, *hardener* dan pewarna / *pigmen* (kuning), kertas karton, stempet atau *mirror glaze* (pelapis anti lengket pada resin), lem.

2. Peralatan : cetakan *core (mold)* berbentuk standar ASTM D638, timbangan, *mixer* elektrik, wadah untuk menimbang dan mengaduk.

Gambar 3.5 adalah material *epoxy resin*, *hardener* dan pigmen yang akan digunakan untuk membuat material *core* dalam penelitian ini. Dan material *epoxy resin* dan *hardener* yang akan digunakan dengan merk produk COLORCHEM.



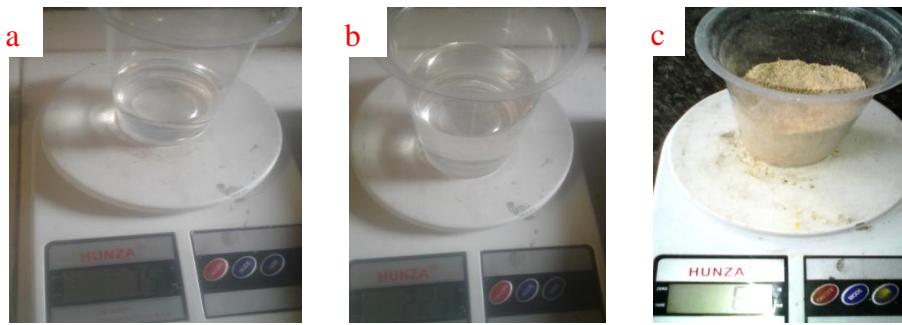
Gambar 3.5 Hardener, Epoxy resin dan pigmen kuning

Untuk pembuatan spesimen uji material *core*, berat campuran / adonan yang akan digunakan seperti hasil perhitungan dalam tabel 3.2. Perbandingan berat *epoxy resin* dan *hardener* adalah 3:1 (gram).

Tabel 3.2 Kalkulasi persentase berat material *matrix* dan *filler* material *core*

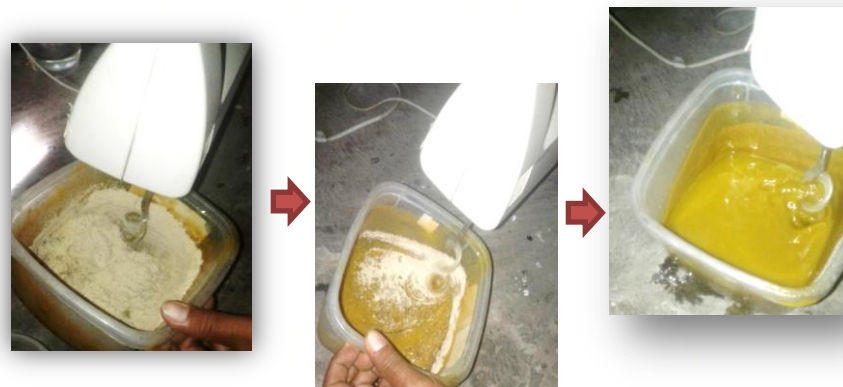
Komposisi <i>core</i>	<i>Epoxy resin</i> (gram)	<i>Hardener</i> (gram)	Serbuk sekam (gram)	Berat total <i>core</i> (gram)
0 %	450	150	0	600
5 %	427,5	142,5	30	600
10 %	405	135	60	600
15 %	382,5	127,5	90	600
20 %	360	120	120	600
30 %	315	105	180	600

Langkah selanjutnya adalah mengukur berat masing-masing material dengan alat timbang digital seperti yang tersaji dalam Gambar 3.6. Dan proses penimbangan ini berdasarkan kalkulasi dari tabel 3.2.



Gambar 3.6 Proses menimbang berat material : (a) *hardener*, (b) *epoxy resin*, (c) serbuk sekam

Berikutnya Gambar 3.7 menunjukkan proses mencampur semua bahan ke dalam wadah dan diaduk secara merata. Agar diperoleh campuran yang homogen, maka perlu dilakukan pengadukan dengan *mixer* elektrik selama 3-5 menit . Pengadukan ini dilakukan untuk membuat specimen uji hanya untuk satu komposisi.



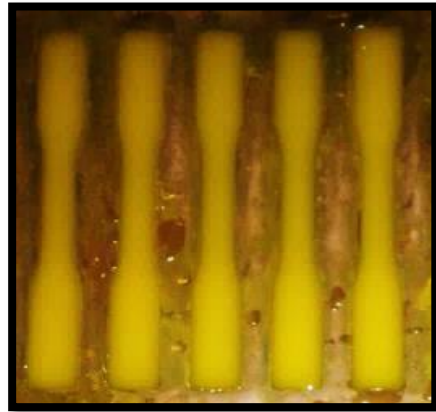
Gambar 3.7 Proses pengadukan selama 3-5 menit

Setelah tercampur merata dan *mold* telah dilapisi *mirror glaze* atau stempet, maka adonan material *core* cair siap dituang ke dalam cetakan (*mold*) yang mengacu ukuran ASTM D638 dan proses penuangan tersebut ditunjukkan Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Proses penuangan cairan *core* kedalam cetakan

Gambar 3.9 adalah proses *curing* sampai menjadi keras (*hardening*) yang berlangsung selama ≥ 8 jam. Setelah keras, material *core* siap dilepaskan dari cetakan.



Gambar 3.9 Proses *curing* dan *hardening* dalam cetakan

Setiap selesai pelepasan material *core* dari *mold* / cetakan dan dilanjutkan pencetakan komposisi berikutnya, perlu diperhatikan untuk tetap menjaga permukaan *mold* tetap licin dengan melapisi atau mengolesi kembali permukaan cetakan dengan *mirror glass* atau dengan stempet (*grease*) seperti yang ditunjukkan Gambar 3.10. Pelapisan dengan stempet atau *mirror glaze* ini bertujuan agar material *core* untuk spesimen uji saat sudah keras agar mudah dilepas dari cetakan.



Gambar 3.10 *Mirror glaze* dan stempet

3.4.5. Pengujian Densitas Material Core

Untuk pengujian densitas material ini mengacu pada standard *class* yaitu ASTM 845 yang sudah di jabarkan dalam bab 2.5.1. Dan pengujian ini dilakukan pada tiap-tiap komposisi minimal 5 spesimen.

Pengujian tersebut diawali dengan menimbang berat material *core* yang ditunjukkan Gambar 3.11 dan diikuti dengan pengukuran volumenya. Setelah data berat dan volume diperoleh selanjutnya dilakukan kalkulasi densitasnya.



Gambar 3.11 Menimbang berat material *core* (sumber : Windra, 2017)

3.4.6. Pengujian *Hardness* Material Core

Pengujian kekerasan (*hardness*) dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari material, sehingga sifat mekanis material dapat diketahui. Metode pengujian ini didasarkan pada penetrasi dari indentor jenis tertentu ketika dikenakan gaya kedalam bahan dalam kondisi tertentu. Lekukan kekerasan berbanding terbalik dengan penetrasi dan tergantung pada modulus dan viskoelastis dari perilaku elastis material itu sendiri. Hasil pengujian ini akan diperoleh sifat material yaitu sifat getas atau keuletan material tersebut. Gambar 3.12 menunjukkan bentuk

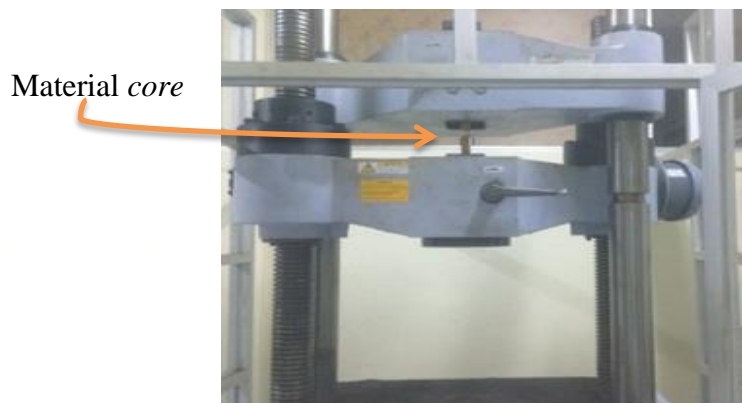
durometer yaitu alat yang akan digunakan untuk mengukur kekerasan material *core*.



Gambar 3.12 Gambar durometer

3.4.7. Pengujian Kekuatan Tarik Material *Core*

Dalam *Rules* disyaratkan untuk material SPS untuk mengetahui layak tidaknya material tersebut harus diuji untuk mengetahui kekuatannya. Pengujian diawali dengan uji kuat tarik (*tensile strength*) material *core*-nya dengan *Universal Testing Machine* (UTM). Bentuk UTM untuk pengujian material *core* ditunjukkan Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pengujian material *core*

3.4.8. Pengujian Kuat Tekan (*Compressive*) Material *Core*

Tes ini merupakan salah satu jenis pengukuran kekakuan kompresif pada material *core*. Pada pengujian ini akan diperoleh nilai gaya tekan maksimum

yang dapat diterima spesimen uji yang berbentuk silinder. Spesimen *core* yang diuji hanya pada komposisi 5%, 10% dan 15%. Dan bentuk specimen uji kompresive ditunjukkan Gambar 3.14.



Diameter silinder = 1,5 cm Tinggi silinder = 2,5 cm
--

Gambar 3.14 Spesimen uji tekan berbentuk silinder

3.4.9. Hasil Identifikasi Material *Core*

Setelah diperoleh hasil pengujian material *core*-nya, langkah berikutnya adalah menganalisa hasil pengujian baik nilai *tensile strength*, modulus elastisitas, persentase perpanjangan (*elongation break*), densitas dan kekerasannya (*hardness*). Selanjutnya dilakukan pemeriksaan kriteria dengan standard klas LR. Dan hasil pemeriksaan tersebut dipakai untuk menentukan komposisi material *core* yang akan digunakan dalam perancangan pelat *sandwich panel*.

3.5. Metode Pembuatan Material *Sandwich Panel*

Dalam perancangan pelat *sandwich panel* ini diawali dengan menentukan ketebalan *faceplate* dan *core sandwich panel*, persiapan material *faceplate* dan *core* dan pengecoran antara *faceplate* dengan *core*. Pembuatan pelat sandwich ini dipakai untuk uji lentur dan uji getaran. Untuk uji lentur, spesimen uji pelat *sandwich panel* dirancang menurut standard ASTM C393.

3.5.1. Identifikasi Material *Faceplate*

Identifikasi material *faceplate* dilakukan untuk mengetahui jenis material baja yang digunakan, beserta penetapan nilai ketebalan baja yang digunakan dengan menggunakan standard seperti yang dijabarkan dalam bab 2.4. Dari hasil

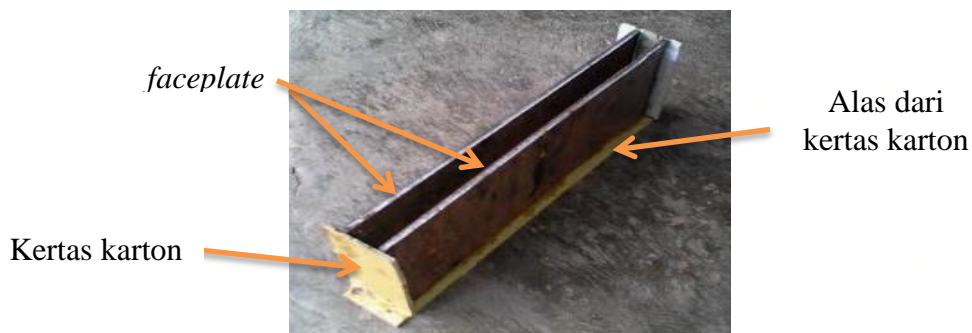
perhitungan ini nanti akan diperoleh data ketebalan *faceplate* yang akan dipakai untuk pelat *sandwich panel*.

3.5.2. Kalkulasi Ketebalan *Sandwich Panel*

Untuk penentuan tebal *faceplate* (t_1 dan t_2) dan *core sandwich panel* (t_c) mengacu pada standarisasi ketebalan minimum sebagaimana yang disyaratkan oleh LR. Kalkulasi ketebalan *sandwich panel* ini mengacu pada persamaan 2.1.

3.5.3. Persiapan Material *Faceplate*

Persiapan material *faceplate* ini adalah menyediakan pelat baja yang akan digunakan sebagai spesimen uji baik untuk uji lentur dan getaran. Setelah pelat baja tersedia, kemudian dipotong dan dibentuk sesuai dengan ukuran standard ujinya. Dan untuk mempermudah proses pengecoran, maka pelat untuk *faceplate* ini akan dibentuk sebagai cetakan dan bentuk cetakan ditunjukkan Gambar 3.14. Antara *faceplate* dan kertas karton agar menempel maka direkatkan dengan lem.



Gambar 3.15 Pelat SPS berbentuk cetakan/wadah yang siap diisi *core* cair

3.5.4. Pengecoran Material *Core* dengan *Faceplate*

Pengecoran material *core* pada *faceplate* dilakukan per spesimen uji. Diawali dengan pengadukan material *core* selama 3-5 menit, kemudian dituang kedalam *faceplate* dan diamkan selama 8 jam untuk proses *curing* dan *hardening*. Hasil pengecoran *core* dalam cetakan *faceplate* ditunjukkan Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Hasil pengecoran *core* kedalam *faceplate*

3.6. Metode Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Untuk mengetahui material *sandwich panel* ini memenuhi standard klas maka perlu dilakukan identifikasi diantaranya dengan uji lentur. Dari pengujian ini nanti akan diperoleh data tegangan geser dan modulus geser, tegangan lentur, modulus lentur dan *poisson ratio* material pelat *sandwich panel*.

3.6.1. Pengujian Densitas Material *Sandwich Panel*

Pengujian densitas material *sandwich panel* ini nantinya digunakan untuk kalkulasi berat penggunaan pelat *sandwich panel* berdasarkan ukuran dari kapal pemandang. Pengujian material pelat *sandwich panel* telah dijelaskan dalam bab 2.5.1, diantaranya mengukur berat pelat *sandwich panel* ditunjukkan dan volumennya. Proses menimbang berat material *sandwich panel* ditunjukkan Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Menimbang berat material *sandwich panel*

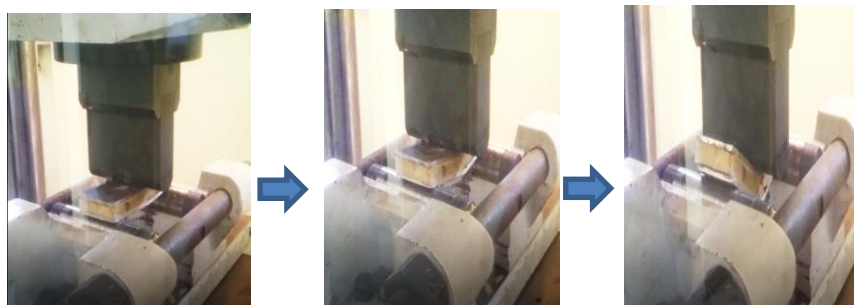
Perbandingan berat pelat baja dengan pelat *sandwich panel* dari kapal pembanding dapat diketahui setelah melakukan kalkulasi dengan rumusan :

$$\text{Berat Sandwich Panel} = \text{densitas} \times \text{volume (ton)} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana untuk ukuran volume ini dipengaruhi panjang dan lebar dari lokasi penempatan pelat sandwich panel tersebut.

3.6.2. Pengujian Lentur Material *Sandwich Panel*

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mengetahui kekuatan pelat *sandwich panel* jika mendapat beban P (N) yang tegak lurus dengan pelat uji (bab 2.5.3). Hasil dari pengujian ini adalah pola bentuk grafik hubungan antara tegangan lentur yang dihasilkan dengan *deflection* yang terjadi pada spesimen. Nilai tegangan tekan (σ_t) dan defleksi (Δ) yang dihasilkan menjadi dasar penentuan batas tegangan dan lendutan dari pengaplikasian *sandwich panel* pada konstruksi kapal. Proses pengujian lentur material *sandwich panel* ditunjukkan Gambar 3.18.



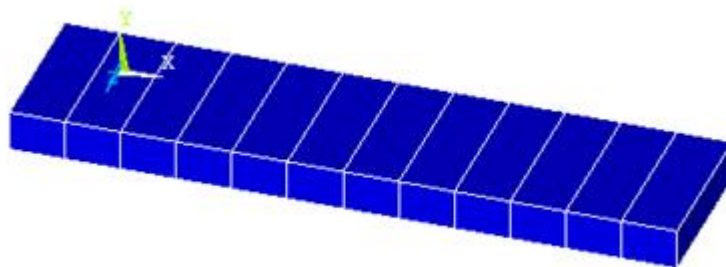
Gambar 3.18 Proses pengujian lentur material *sandwich panel*

3.6.3. Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Tujuan dari identifikasi *sandwich panel* adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik material penyusun dari adanya penggabungan komponen material sekaligus untuk mengetahui seberapa besar batas nilai tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan pada material *sandwich panel*. Hasil identifikasi diperoleh dari pengujian densitas dan pengujian lentur.

3.7. Pemodelan *Sandwich Panel*

Pemodelan *sandwich panel* pada penelitian ini menggunakan *finite element modelling*. Model *sandwich panel* ini kemudian akan dilakukan proses analisa struktur dan *modal analysis* untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada material *Sandwich panel* untuk setiap masing-masing komposisi dan untuk mengetahui karakteristik dinamika material tersebut dari proses *modal analysis*. Gambar 3.18 merupakan model *Sandwich Panel* dengan menggunakan *Finite Element Software*.



Gambar 3.19 Model *sandwich panel*

Model yang dibuat memiliki panjang 24 cm x 6 cm. Karakteristik material yang digunakan pada *faceplate* adalah *structural steel plate* / baja dan karakteristik *core*-nya adalah *epoxy resin* dan serbuk sekam dengan masing-masing nilai propertis dari komposisi 10% dan 15 %.

3.8. Metode Pengujian Getaran

3.8.1. Persiapan Pengujian

Tahap persiapan yang dilakukan untuk pengujian getaran adalah dengan menambahkan peralatan pendukung untuk memberikan kondisi spesimen uji dapat dikondisikan seperti pada kondisi lapangan yaitu pelat yang dilas (jepit) pada keempat sisinya, dimana struktur yang ditambahkan tidak merubah hasil dari pengujian. Dengan kondisi laboratorium pengujian yang ada, maka dibuat dudukan untuk spesimen uji yang terbuat dari baja dengan tebal 10 – 25 mm.

Dudukan ditempatkan pada mesin *fraise* yang diikat dengan baut M16 sebanyak 6 buah. Pada bagian tengah dudukan dibuat lubang yang berfungsi

sebagai lokasi untuk membuat cacat atau retak pada *core* dengan menggunakan mesin bor tangan. Perlu menjadi perhatian adalah pengencangan baut dapat merubah proses identifikasi hasil pengujian. Gambar 3.20 merupakan dudukan yang digunakan dalam pengujian getaran material *Sandwich Panel*.



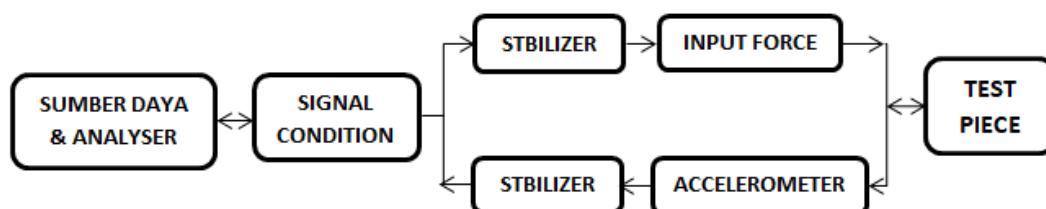
Gambar 3.20 Dudukan untuk pengujian getaran

3.8.2. Pengujian Getaran *Sandwich Panel*

Untuk mengawali pengujian getaran ini adalah melakukan pengaturan peralatan yang akan digunakan untuk identifikasi hasil pengujian getaran. Peralatan yang digunakan antara lain.

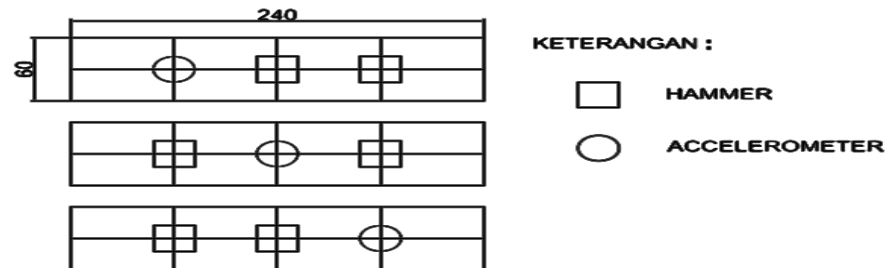
- Sumber daya : Laptop *Asus X550D*
- *Analyser* : Software *PicoScope 6 ver 6.11.12.1692*
- *Hammer* : *Omega IH 101-1K*

Pengujian ini menggunakan *Experiment Modal Analysis* dengan metode *impact input* dan *piezoelectric accelerometer*. Gambar 3.21 menunjukkan bagan alur pengujian untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material *sandwich panel*.



Gambar 3.21 *Set up* penelitian yang digunakan dalam pengujian

Pengujian getaran ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari material *Sandwich Panel* itu sendiri. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data untuk setiap posisi *hammer* sebanyak 16 kali.

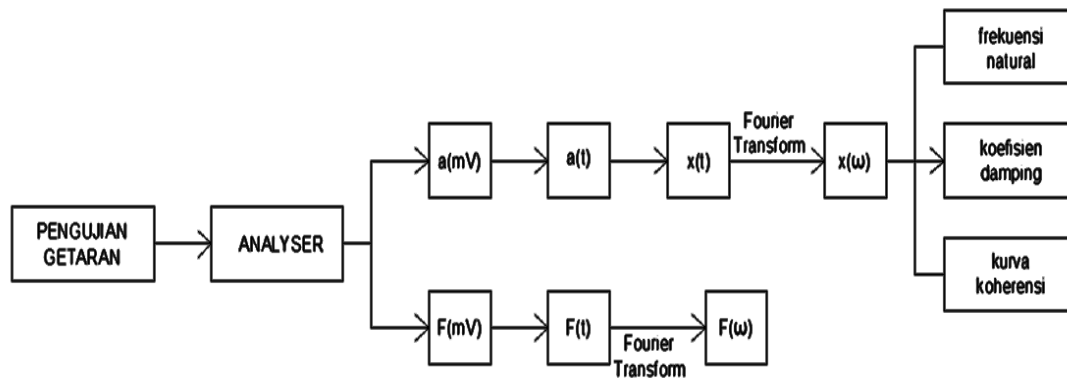


Gambar 3.22 Ilustrasi pengambilan data

Pada gambar 3.22 adalah ilustrasi pengambilan data pada pengujian getaran ini. Pertama-tama, panel diberi garis pada tengah spesimen seperti diatas, persegi menunjukkan posisi eksitasi *hammer* pada panel sedangkan lingkaran menunjukkan posisi *accelerometer*. Posisi pengambilan data diatas diambil sebanyak mungkin agar *mode* getaran yang terjadi pada panel dapat diambil datanya pada pengujian ini.

3.8.3. Proses Pengolahan Data

Data yang didapat dari pengujian tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan analisa. Data harus diolah terlebih dahulu menggunakan teori-teori dan formula yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Pada penelitian kali ini penulis mengolah data dengan bantuan *software* matematis.



Gambar 3.23 Bagan pengolahan data

Gambar 3.23 menggambarkan bagan dalam proses pengolahan data yang didapat dari pengujian getaran akan terekam pada *analyser*. Tahap pertama, data yang terekam pada *analyser* berupa dimensi signal listrik, untuk merubah terhadap dimensi yang lebih familiar maka perlu dilakukan konversi. Konversi pada tahap ini didapat melalui data sensitifitas dari *accelerometer* dan *hammer* yang digunakan dalam penelitian. Adapun data sensitifitasnya adalah

- *Accelerometer sensitivity* : $\frac{10,32}{9,8} mV/ms^2$
- *Hammer sensitivity* : $1,14877737 mV/N$

Kemudian untuk mempermudah analisa hasil, percepatan sebagai *output* pada *accelerometer* dikonversi menjadi *displacement* atau perubahan menggunakan formula *Fourier Transform* (pers 3.2) berikut ini.

$$x = \frac{a}{2\pi^2 f^2} \quad (3.2)$$

Formula *Fourier Transform* digunakan pada data, *force* yang digunakan harus memenuhi hingga frekuensi yang akan diidentifikasi, apabila tidak memenuhi dilakukan pengujian ulang. Kemudian *spectrum displacement* berdasarkan *frekuensi domain* dapat diidentifikasi dan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material tersebut sesuai dengan formula (2.12) hingga (2.15).

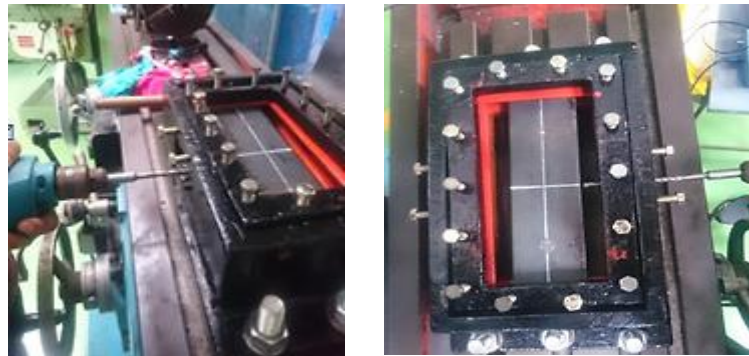
Proses identifikasi frekuensi natural dilakukan setelah data dari frekuensi domain telah diketahui. Menggunakan grafik *transfer function* sebagai proses awal identifikasi karena merupakan perbandingan dari *output* dan *input*. Perlu diperhatikan juga adalah nilai koherensi dari hasil pengujian tersebut. Selanjutnya dapat diidentifikasi *peak* yang merupakan frekuensi natural berdasarkan perkiraan estimasi dari proses analisa pemodelan.

Jumlah *peak* yang terdapat pada pengujian terkadang banyak dan sulit dibedakan, maka dilakukan proses verifikasi *peak* menggunakan sudut fase. He Jimin (2001), pada bukunya menyatakan bahwa secara teori, sudut fase pada sebuah mode getaran akan berubah sebanyak -180° . Ini menandakan perubahan drastis dari positif ke negatif atau sebaliknya. Jika *peak* yang diestimasi

menunjukkan perubahan sudut fase seperti diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *peak* pada frekuensi tersebut merupakan frekuensi natural dari *sandwich panel*.

3.9. Pembuatan Cacat pada *Core*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan cacat (*crack*) pada bagian *core* dengan bentuk sesuai dengan kerusakan yang terjadi pada saat dilakukan pengujian lentur yaitu dengan kerusakan pada *core* berbentuk melintang sepanjang 15 mm dan dilanjutkan dengan kerusakan berbentuk vertikal setinggi tebal dari *core* yaitu 15 mm. masing-masing cacat yang dibuat memiliki kedalaman 35 mm. Gambar 3.24 menunjukkan proses pembuatan cacat pada *core* material *sandwich panel*.



Gambar 3.24 Proses membuat cacat pada *core* material *Sandwich panel*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Hasil Identifikasi Material *Core*

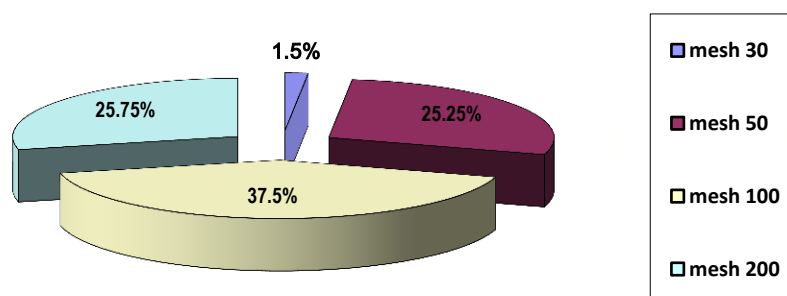
Untuk mendesain material *sandwich panel* perlu dilakukan identifikasi material pembentuknya. Beberapa upaya dilakukan untuk meningkatkan kekakuan sekaligus berbobot ringan dari material *sandwich panel* diantaranya adalah dengan mendesain material *core* yang terdiri dari *epoxy resin* dan serbuk sekam. Dan kekuatan material *core* harus memenuhi kriteria seperti disyaratkan oleh *Rules*. Kriteria material *core* klas LR ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kriteria material klas *Lloyd's Register*, (2006)

Jenis Hasil	Kriteria Class (<i>LR rules</i>)
<i>Density</i>	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT
<i>Hardness</i>	Shore D ≥ 65 at RT
<i>Tensile Strength</i>	$\geq 20 \text{ Mpa}$ at RT
<i>Tensile Modulus</i>	$\geq 5 \text{ Mpa}$ at $+ 80^0 \text{ C}$
<i>Elongation at Break</i>	Min. 20% at RT

4.1.1. Hasil Penyaringan Serbuk Sekam

Hasil penyaringan serbuk sekam ditunjukkan Gambar 4.1 yang berupa grafik lingkaran berikut.



Gambar 4.1 Persentase penyaringan serbuk sekam

Dari total serbuk sekam yang lolos ayakan *mesh* 50 jumlahnya lebih dari 88,5% dan yang tidak lolos ayakan *mesh* 50 jumlahnya 11,5%. Maka serbuk sekam yang diambil adalah serbuk sekam yang lolos ayakan pada ukuran *mesh* 50 karena persentasenya lebih besar dan material serbuk sekam yang tidak terpakai hanya 11,5%. Arti ayakan *mesh* 50 ini adalah terdapat 50 lubang pada bidang jaring atau kasa seluas 1 inchi, dan diameter lubang 0,297 milimeter.

4.1.2. Hasil *Treatment* Serbuk Sekam

Dan data hasil penimbangan serbuk sekam ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

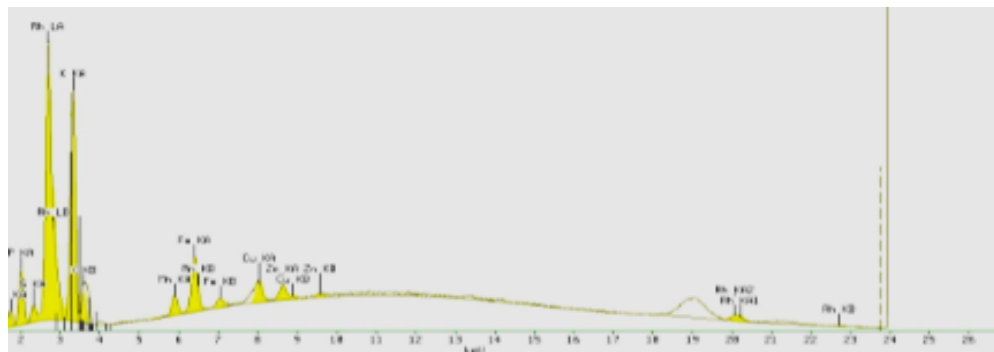
Tabel 4.2 Kalkulasi penyusutan kadar air didalam serbuk sekam

Berat serbuk sebelum di oven (gram)	Berat serbuk setelah di oven (gram)	Penyusutan berat serbuk sekam (gram)	Persentase berat penyusutan serbuk sekam (%)
1869,5	1813,5	56	2,99

Tabel diatas menggambarkan berat serbuk sekam sebelum dan sesudah di oven dan dapat disimpulkan bahwa *treatment* tersebut dapat mengurangi atau menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam serbuk sekam sebesar 2,99 %.

4.1.3. Pengujian Komposisi Kimia Serbuk Sekam

Hasil pengujian komposisi kimia pada serbuk sekam padi dengan XRF ditunjukkan Gambar 4.2.



Hasil pengujian XRF untuk persentase berat dan unsur kimia ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Persentase berat dan unsur kimia serbuk sekam padi (wt=berat)

Unsur kimia	Konsentrasi (wt %)	Unsur kimia	Konsentrasi (wt %)
Si	11	SiO ₂	34,3
P	22,2	P ₂ O ₅	4,5
S	2,9	SO ₃	38,8
K	56,7	MnO	1
Mn	1,6	Fe ₂ O ₃	2,71
Cu	3,83	CuO	0,73
Zn	17	ZnO	0,47

Berdasarkan hasil pengujian XRF, kandungan unsur kimia dari serbuk sekam yang bernilai diatas 20 % adalah K (Kalium), S₀₃ (sulfurtrioksida), SiO₂ (silikondioksida/silika), P (Phosfor). Sedangkan unsur-unsur lainnya adalah Si (silikon), S (sulfur/belerang), Mn (mangan), Cu (cuprum/tembaga), Zn (zink/seng), P₂O₅ (difosforus pentaoksida), MnO (ManganOksida), Fe₂O₃ (Ferioksida), CuO (TembagaOksida) dan ZnO (SengOksida).

4.1.4. Pembuatan Spesimen Uji Tarik Material *Core*

Setelah proses *curing* dan *hardening* selama lebih 8 jam, maka material *core* siap dilepas dari cetakan. Dan hasil pelepasan spesimen uji material *core* ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Spesimen material *core* siap uji

Pengadukan (*mixing*) pada persentase berat serbuk sekam 30% ini butuh waktu yang lebih lama dibanding komposisi yang lain, dimana berat serbuk sekam lebih besar dibanding berat cairan *hardener*/katalis. Sehingga lamanya pengadukan (*mixing*) tersebut menyebabkan terperangkapnya udara didalam adonan *core*. Saat udara sudah keluar, situasi tersebut berbarengan proses pengerasan (*hardening*), sehingga ketika material *core* sudah keras meninggalkan bekas lubang atau kawah dan permukaan *core* agak kasar. Garis biru putus-putus pada Gambar 4.4 merupakan lokasi beberapa lubang atau kawah pada specimen material *core*.



Gambar 4.4 Bentuk cacat berupa lubang / kawah

4.1.5. Pengujian Densitas Material *Core*

Untuk hasil pengujian densitas *core* dilakukan untuk tiap komposisi dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.4 Densitas rata-rata tiap komposisi *core*

Komposisi <i>core</i>	Densitas (kg/m ³)	Kontrol kriteria ($\rho \geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT)
0%	1246,88	√
5%	1182,57	√
10%	1240,63	√
15%	1258,25	√
20%	1251,31	√
30 %	1216,21	√

Tabel 4.5 adalah hasil pengukuran densitas rata-rata pada 5 spesimen uji tiap komposisi. Berdasarkan hasil pengujian densitas tersebut, bahwa semua material *core* tiap komposisi memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh LR yaitu minimum 1000 kg/m³. Nilai densitas yang paling besar dimiliki oleh material *core* dengan persentase berat serbuk sekam 15%.

4.1.6. Pengukuran Kekerasan (*Hardness*) Material *Core*

Berdasarkan pengukuran uji kekerasan material *core* dengan durometer diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.5 Rata-rata hasil pengukuran uji kekerasan

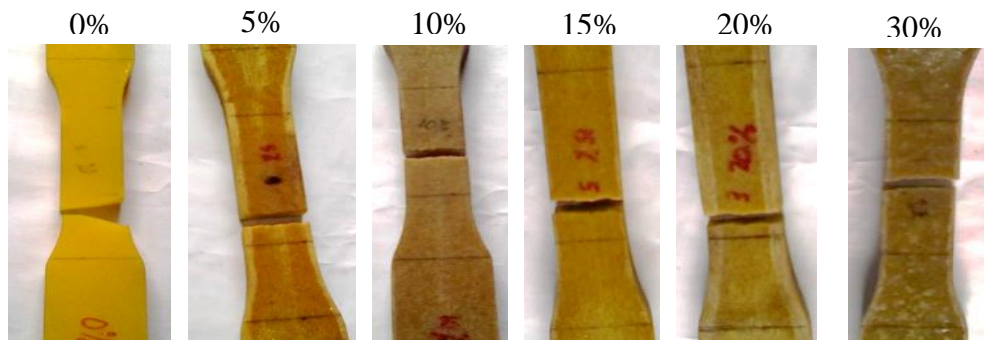
Komposisi serbuk sekam	Hasil uji kekerasan	Kontrol kriteria (Shore D ≥ 65 at RT)
0%	96,3	√
5%	88,1	√
10%	96,3	√

15%	94	√
20%	86,3	√
30%	84,4	√

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan seperti yang tertera dalam tabel diatas, bahwa hasil secara keseluruhan komposisi *core* sesuai kriteria LR. Dari hasil pengukuran tersebut tampak bahwa terjadi penurunan nilai kekerasannya ketika dilakukan peningkatan persentase berat material serbuk sekam yaitu saat penambahan berat serbuk sekam 15%, 20% dan 30%.

4.1.7. Pengujian Kuat Tarik Material *Core*

Pengujian kuat tarik ini dilakukan dengan menguji tiap komposisi masing-masing 5 spesimen uji, maka total material *core* uji berjumlah 30 spesimen. Berikut ini adalah Gambar 4.5 yang menunjukkan bentuk patahan material *core* hasil uji kuat tarik dengan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk tiap komposisi.



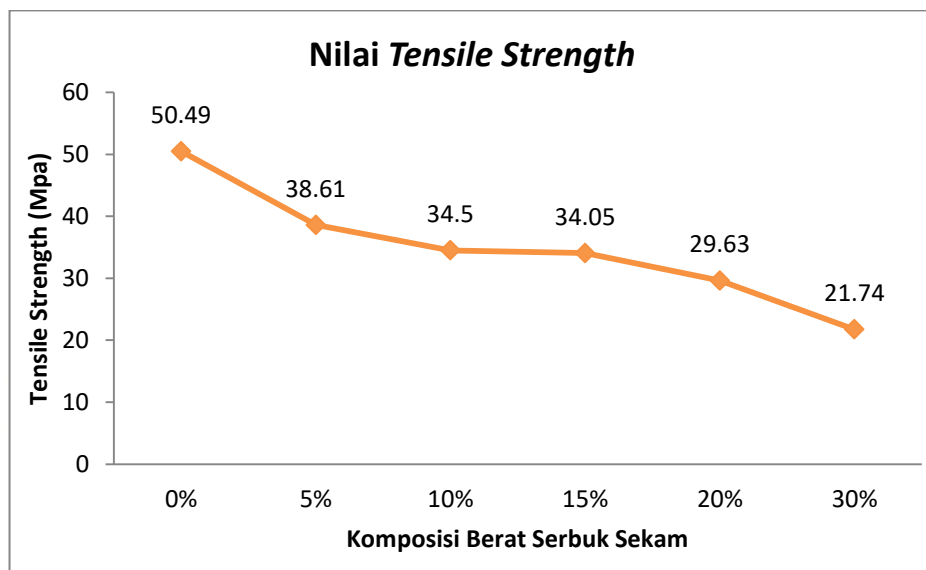
Gambar 4.5 Bentuk patahan material *core*

Sebagaimana yang disyaratkan dalam standard uji, sebagian besar patahan hasil uji tarik material *core* terjadi didalam *gauge lenght*. Dan berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan UTM diperoleh hasil untuk kekuatan tarik tiap komposisi *core* adalah nilai *tensile strength*, modulus elastisitas dan *elongation break* yang tersaji dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Rata-rata nilai hasil uji tarik material *core*

Komposisi serbuk sekam	<i>Tensile strength</i> (MPa)	Modulus elastisitas (Mpa)	<i>Elongation break</i> (%)	Kontrol kriteria
0%	50,49	302,492	26,13	√
5%	38,61	222,734	23,54	√
10%	34,50	221,199	22,88	√
15%	34,05	229,663	21,77	√
20%	29,63	192,178	19,53	x
30%	21,74	155,82	19,75	x

Dalam table 4.7 diperoleh bahwa hanya komposisi *core* serbuk sekam 0%, 5%, 10% dan 15% yang memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh LR, sedangkan kegagalan untuk komposisi *core* 20% dan 30% hanya terjadi pada nilai *elongation break*-nya yang tidak memenuhi standard perpanjangan minimal 20% sebagaimana yang disyaratkan oleh kriteria klas LR.



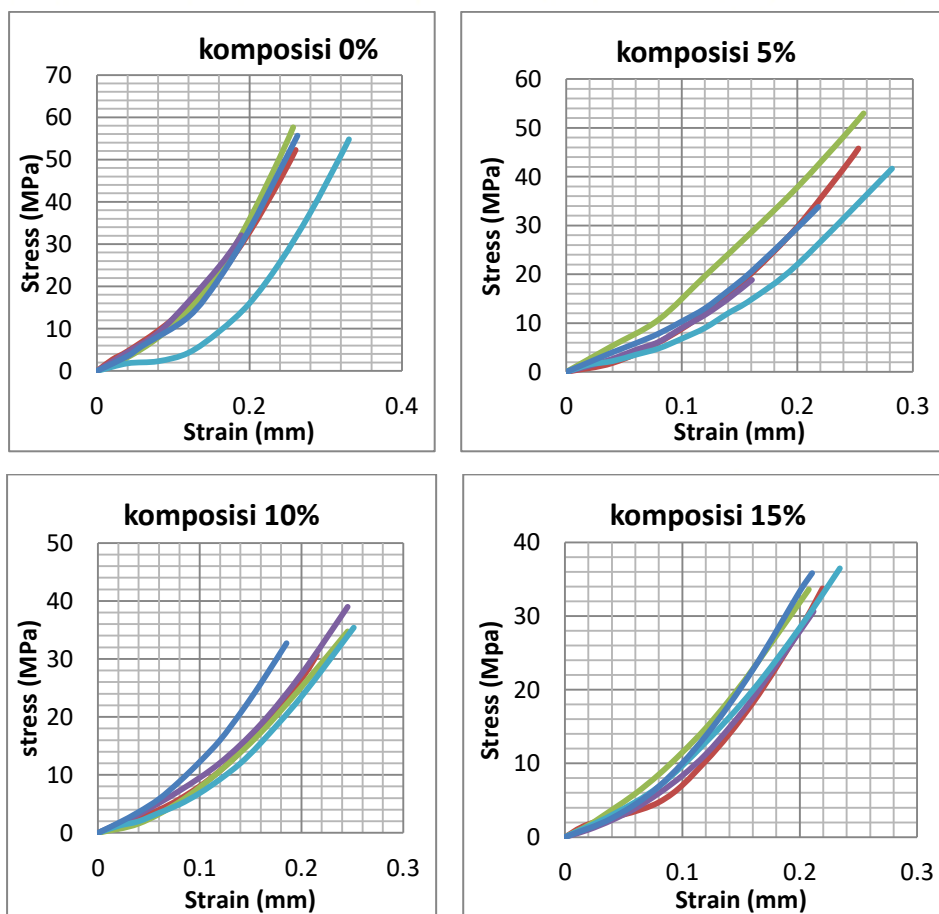
Gambar 4.6 Grafik *tensile strength* material *core*

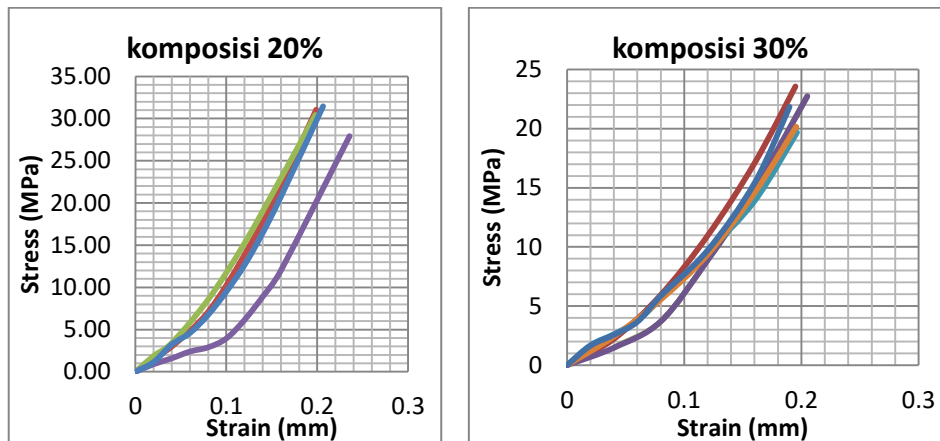
Dalam grafik garis yang ditunjukkan Gambar 4.6 terlihat bahwa dengan adanya penambahan persentase berat material serbuk sekam juga diikuti oleh

penurunan nilai *tensile strength*-nya dan ini mengindikasikan bahwa ikatan antar material pengikat / matrix (*epoxy resin*) dengan material *filler* (serbuk sekam) melemah, sehingga ikatan yang lemah tersebut dapat mereduksi kekuatan tariknya. Dan penurunan nilai *tensile strength* ini juga menandakan pencampuran antara material *matrix* dan *filler* merupakan ciri-ciri material heterogen. Diantara ciri-ciri material heterogen tersebut adalah :

- (a) Pencampuran material tidak merata,
- (b) Selama proses *curing* dan *hardening*, material *filler* berangsur-angsur mengendap karena perbedaan berat jenis antara material *matrix* dan *filler*, dimana densitas material *filler* itu sendiri lebih besar dibanding densitas material *matrix*.

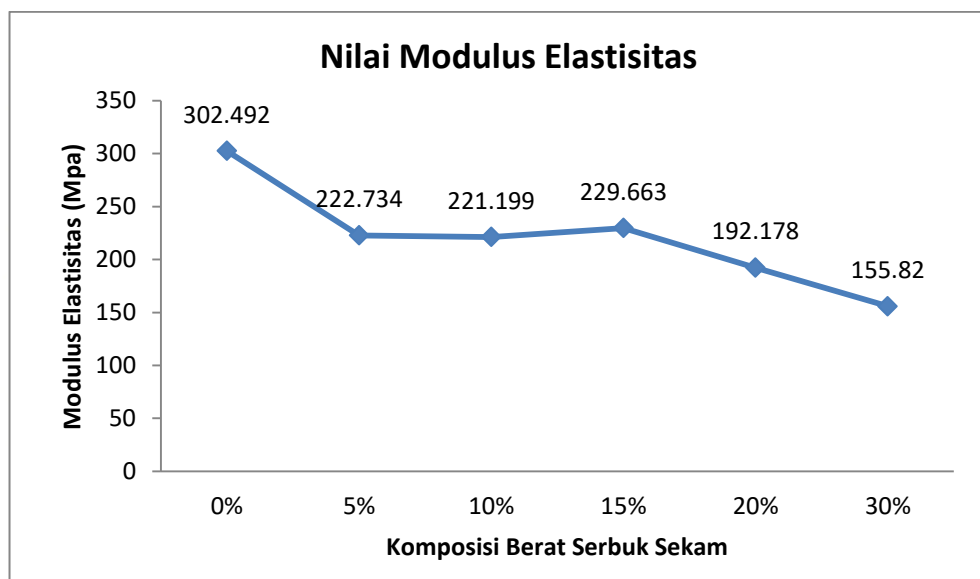
Dalam uji tarik ini juga akan diperoleh nilai kekakuan material *core* berdasarkan nilai modulus elastisitas material *core* yang dapat dianalisa melalui diagram *stress-strain*-nya yang ditunjukkan Gambar 4.7.





Gambar 4.7 Diagram *stress-strain* material *core* tiap komposisi

Gambar 4.7 merupakan diagram *stress-strain* yang menampilkan posisi garis *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) sampai batas maximum yang dialami oleh material *core* saat uji tarik. Persentase berat serbuk sekam 0%, 5%, 10% dan 15% nilai regangan maksimumnya rata-rata melampaui 0,2 mm, sedangkan persentase berat serbuk sekam 20% dan 30% tampak nilai regangannya rata-rata dibawah 0,2 mm. Maka grafik diatas menandakan bahwa untuk komposisi berat serbuk sekam 20% dan 30% lebih getas (*brittle*), jika dibandingkan dengan keempat komposisi yang lain.



Gambar 4.8 Grafik modulus elastisitas material *core*

(sumber : <http://www.ndt-indonesia.com/metode-dan-skala-ukur-pada-shore-hardness-tester-durometer-145>)

Gambar 4.8 pada material *core* 0% (tanpa serbuk sekam) menunjukkan nilai modulus elastisitas yang terbesar sekaligus memiliki nilai regangan dan kemampuan menahan tegangan yang terbesar jika dibanding komposisi material *core* yang lain. Sehingga dapat disimpulkan material komposisi berat serbuk sekam 0% ini yang terkuat. Grafik modulus elastisitas material *core* cenderung menurun dan penurunan ini dipengaruhi oleh penambahan persentase berat serbuk sekam, dimana semakin meningkat persentase berat serbuk sekam, maka kekakuan material *core* juga ikut meningkat dan peningkatan itu bisa dilihat dari nilai regangan (*strain*) yang dimiliki masing-masing komposisi *core* sebagaimana yang terlihat dalam diagram *stress-strain* diatas. Tetapi tren penurunan grafik modulus elastisitas ini terhenti ketika masuk pada komposisi berat serbuk sekam 15%, dimana pada komposisi ini memiliki nilai densitas dan regangan yang besar jika dibanding dengan komposisi serbuk sekam 5% dan 10%. Dan grafik garis modulus kembali menurun saat menuju komposisi serbuk sekam 20% dan 30%.

4.1.8. Pengujian Kuat Tekan (*Compressive*) Material *Core*

Dalam pengujian *compressive* ini hanya mengambil 3 komposisi yang ideal. Hasil pengujian kuat kompresive ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Nilai kuat *compressive* material *core*

Komposisi <i>core</i>	Rata-rata hasil uji kuat <i>compressive</i> (N/mm ²)
5%	78,13
10%	69,07
15%	63,42

Melihat nilai kuat kompresive yang dimiliki material *core* menunjukkan bahwa dengan penambahan persentase berat material serbuk sekam dapat memberi pengaruh terhadap kekakuan dari material *core* tersebut, artinya semakin

bertambah atau meningkat persentase berat material serbuk sekam maka kekakuan material *core* akan naik dan nilai regangannya juga kecil.

4.1.9. Hasil Identifikasi Material *Core*

Dari hasil pengujian untuk tiap komposisi material *core* ditunjukkan pada Tabel 4.9, diperoleh bahwa kekuatan yang memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh LR adalah *core* dengan komposisi berat serbuk sekam sebesar 0%, 5%, 10% dan 15%.

Tabel 4.8 *Mechanical properties* material *core* lolos kriteria LR

<i>Parameter</i>	Nilai per komposisi serbuk sekam			
	0%	5%	10%	15%
<i>Force yield</i> , (N)	15300	7340	8700	8125
<i>Yield strength</i> , (Mpa)	55,12	29,346	32,12	34,01
<i>Elongation at yield</i> , (%)	29,65	13,93	21	21,821
<i>Modulus elasticity</i> , (Mpa)	302,492	222,734	221,199	229,663
<i>Force max</i> , (N)	13990	9863	9560	8900
<i>Tensile strength</i> , (Mpa)	50,49	38,61	34,50	34,05
<i>Max displacement</i> , (mm)	13,01	11,712	10,84	11,4
<i>Elongation at max</i> , (%)	26,01	23,42	21,7	22,76
<i>Force break</i> , (N)	10500	8650	7800	8140
<i>Break strength</i> , (Mpa)	37,8	33,843	27,7	31,51
<i>Hardness</i>	96,3	88,1	96,3	94
<i>Density</i> , (kg/m ³)	1246,88	1182,57	1240,63	1258,25

Dan untuk penelitian selanjutnya komposisi berat serbuk sekam yang akan dipakai hanya persentase berat serbuk sekam 10% dan 15% karena komposisi tersebut lolos kriteria LR dan komposisi yang paling ideal sekaligus representatif untuk penelitian ini. Selanjutnya komposisi 10% dan 15% akan digunakan sebagai material *core* pada pelat *sandwich panel*, baik untuk spesimen uji lentur, densitas dan uji getaran.

4.2. Pembuatan Material *Sandwich Panel*

Untuk pembuatan material *Sandwich panel* dibuat dengan kombinasi material baja sebagai lapisan *faceplate* dan campuran *epoxy resin* dengan persentase berat serbuk sekam 10% dan 15% sebagai lapisan *core material*. Adapun hasil analisa dari beberapa tahapan pembuatan dijelaskan pada beberapa sub-bab berikut ini.

4.2.1. Kalkulasi Ketebalan *Sandwich Panel*

Untuk penentuan tebal *faceplate* (t_1 dan t_2) dan *core sandwich panel* (t_c) mengacu pada standarisasi ketebalan minimum oleh klas LR ditunjukkan pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.9 Kalkulasi ketebalan lapisan *faceplate* (pers. 2.1)

Bagian	t_{rules} (mm)	t_c (mm)	k	t_{aR} (mm)	t_{a1} (mm)	t_{a2} (mm)	t_1 dan t_2 (mm)	Hasil pembulatan (mm)
<i>Top deck</i>	12,5	15	1	2,5	2,5	0	5,5	6

Tabel 4.10 Kalkulasi ketebalan material *core*

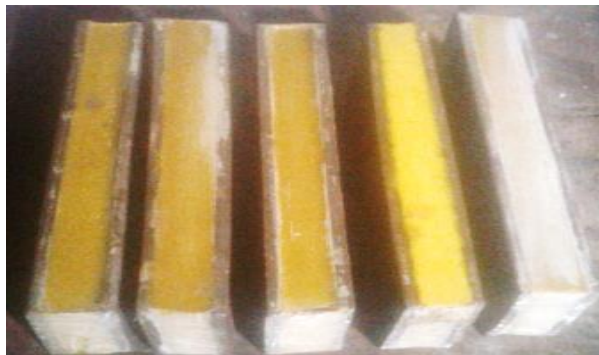
Bagian <i>Main deck</i>								
a (mm)	b (mm)	A_R $(a/b)^{0,65}$	Z_{rule} (cm ³)	l (cm)	$P_{eq,R}$ (Mpa)	<i>Face plate</i>		
						t_1 (mm)	t_2 (mm)	k
2.400	1.500	1,36	1E+06	240	0,04	6	6	1
t_c (mm)	d (mm)	R	$R \leq I$	Hasil				
15	27	0,45	ok	(6 – 15 – 6)				

Berdasarkan hasil kalkulasi ketebalan *sandwich panel* maka untuk ukuran tebal *faceplate* (t_1 dan t_2) dan tebal *core* (t_c) untuk specimen uji lentur adalah $t_1 = t_2 = 6$ mm dan $t_c = 15$ mm. Data kalkulasi tabel 4.9 juga akan digunakan untuk kalkulasi berat densitas dan konstruksi kapal berbahan pelat *sandwich panel*,

sehingga perbandingan berat kapal pembanding berbahan pelat baja dengan kapal berbahan pelat *sandwich panel* akan diperoleh.

4.2.2. Pengecoran Material Core dengan Faceplate

Pada tahap ini adalah penuangan cairan *core* kedalam wadah berbentuk *faceplate*, selanjutnya proses *curing* dan *hardening* selama 10 jam. Setelah permukaan *core* dirasa keras, berikutnya adalah membersihkan material *sandwich panel* dari kertas karton yang masih menempel.



Gambar 4.9 Spesimen material *sandwich panel* siap uji

Gambar 4.9 adalah bentuk specimen uji material *sandwich panel* untuk uji lentur dan metode yang sama juga digunakan untuk mencetak specimen uji getaran. Tampak gambar diatas antara material *faceplate* dan material *core* dapat menyatu. Berdasarkan hasil kalkulasi ketebalan *sandwich panel* maka untuk ukuran tebal *faceplate* (t_1 dan t_2) dan tebal *core* (t_c) untuk specimen uji adalah $t_1 = t_2 = 6$ mm dan $t_c = 15$ mm.

4.3. Identifikasi Material Sandwich Panel

Identifikasi material *sandwich panel* dilakukan untuk mengetahui perubahan bentuk karakteristik material dari kondisi setiap material penyusunnya, dikarenakan material *sandwich panel* ini tersusun dari dua jenis material yang memiliki sifat berbeda, tentu akan menghasilkan nilai kekuatan yang berbeda, dengan melakukan identifikasi maka akan diketahui apakah bentuk lapisan akan memberikan peningkatan kekuatan atau sebaliknya.

4.3.1. Pengujian Densitas Material *Sandwich Panel*

Hasil uji densitas material *sandwich panel* ini akan digunakan untuk penentuan berat pelat yang akan digunakan pada kapal pembanding dengan formula (2.2). Hasil identifikasi densitas *sandwich panel* ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Hasil densitas *sandwich panel*

Komposisi <i>core</i>	Densitas (kg/m ³)	Rata-rata
10%	3932,64	3968,68
15%	4004,72	

Tabel 4.11 menunjukkan hasil dari densitas material *sandwich panel* dengan nilai densitas rata-rata sebesar 3968,68 kg/m³. Densitas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan densitas baja konvensional 7.850 kg/m³. Pengurangan berat densitas sebesar 49,44%. Hal ini menunjukkan kombinasi bentuk material *sandwich panel* akan menghasilkan material yang lebih ringan dari kondisi berat material baja. Namun, hal ini tidak dapat dijadikan dasar untuk menyatakan bahwa penggunaan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal akan mereduksi berat dari konstruksi kapal.

Luas permukaan yang sama antara penggunaan material baja pada suatu ketebalan tertentu yang digantikan dengan material *sandwich panel* dengan ketebalan yang lebih besar dari ketebalan material baja pada nilai kekuatan yang sama cenderung akan menghasilkan berat yang lebih besar.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengurangan berat yang terjadi pada beberapa penerapan material *sandwich panel* bukan pada penggunaan material tersebut, melainkan pada bentuk struktur konstruksi yang akan dirubah menjadi sedemikian rupa, untuk menghasilkan pengurangan berat, namun masih memiliki nilai keamanan dari segi kekuatan konstruksi yang dihasilkan. Hal ini akan mengakibatkan suatu permasalahan, karena dibutuhkan analisa melalui

perhitungan kekuatan struktur untuk dapat mencapai kondisi pengurangan berat konstruksi yang diharapkan.

4.3.2. Pengujian Kekuatan Lentur Material *Sandwich Panel*

Hasil pengujian ini tersaji dalam tabel 4.12 diantaranya nilai pengujian lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan suatu material dalam menerima beban secara vertikal hingga material tersebut tidak dapat kembali pada posisi semula atau hingga material tersebut mengalami kerusakan. Gambar 4.10 berikut menampilkan beberapa kerusakan yang dialami *sandwich panel* saat uji lentur yaitu berupa pecahnya material *core* menjadi beberapa bagian dan bentuk pecahan tersebut merupakan ciri material getas, sedangkan material *faceplate* mengalami lekukan/lendutan.



Gambar 4.10 Hasil uji lentur spesimen pelat *sandwich panel*

Tabel 4.12 Hasil uji lentur material *sandwich panel*

Komposisi core	Force (N)	Flexure Stress (Mpa)	Deflection (mm)
10%	29653,06	156,89	18,61
15%	24762,5	131,02	11,46

Tabel 4.12 menampilkan nilai defleksi atau lendutan yang dialami oleh pelat *sandwich panel* setelah uji lentur dan memiliki nilai rata-rata 15,035 mm dan yang lebih besar jika dibanding dengan nilai pengujian dari *sandwich panel* dengan komposisi Resin 157 BQTN (60%wt) dan talac (40%wt) yang memiliki

nilai *flexure stress* sebesar 118,97 Mpa dan defleksi sebesar 11,81 mm (Windra, 2017). Maka pelat *sandwich panel* berbahan inti serbuk sekam 10% ini memiliki sifat lebih kuat dan ulet (*ductile*).

4.3.3. Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Berikutnya adalah identifikasi material *sandwich panel* yang telah dibuat, diuji dan tersaji pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Identifikasi *sandwich panel* berdasarkan kriteria LR

Komposisi core	Densitas (kg/m³)	<i>Flexure Stress</i> (Mpa)	Modulus Geser (MPa)	<i>Deflection</i> (mm)
10%	3932,64	156,89	161,87	18,61
15%	4004,72	131,02	216,37	11,46

1. Nilai densitas dari material *sandwich panel* lebih ringan 49,45% dari densitas material baja. Dengan demikian, kemungkinan besar akan menghasilkan berat konstruksi kapal yang lebih ringan.
2. Tegangan lentur dari kedua *sandwich panel* rata-rata sebesar 143,955 Mpa dan tegangan ini sebagai acuan tegangan maksimal pada pemodelan struktur geladak ponton.
3. Nilai rata-rata modulus geser sebesar 189,12 Mpa, dimana nilai ini berada diatas nilai minimal yang diberikan oleh LR yaitu $G = 120$ Mpa.
4. Defleksi atau lendutan rata-rata yang dialami oleh *sandwich panel* sebesar 15,035 mm.

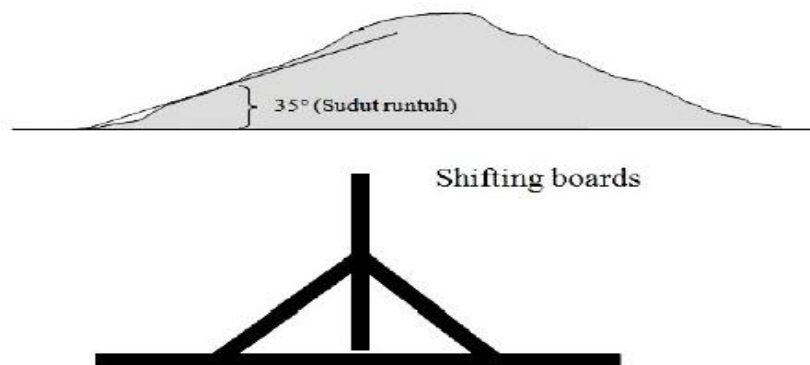
Properties material *sandwich panel* berdasarkan hasil pengujian untuk keperluan data perancangan dan perhitungan kekuatan struktur ditunjukkan pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Mekanikal propertis material *sandwich panel*

<i>Mechanical properties sandwich panel at room temperature</i>			
<i>Parameter</i>	Material core 10%	Material core 15%	Satuan
<i>Density, ρ</i>	3932,64	4004,72	<i>kg/m³</i>
<i>Flexure strength, σ_{lt}</i>	156,89	131,02	<i>Mpa</i>
<i>Shear bond strength, τ_c</i>	9,411	7,86	<i>Mpa</i>
<i>Max Deflection, Δ</i>	18,61	11,46	<i>mm</i>
<i>Max Force at flexure condition</i>	29653,06	24762,5	<i>N</i>
<i>Poisson ratio</i>	0.317	0.469	

4.4. Analisa Muatan Ponton

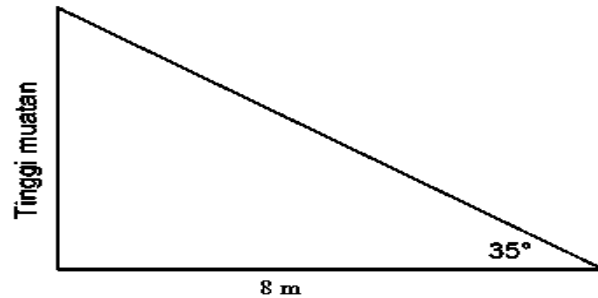
Kapal ponton dalam pemodelan ini merupakan ponton dengan muatan Batu Bara , dimana muatan batubara umumnya memiliki “Sudut Runtuh” (angle of repose), $\pm 35^\circ$ terhadap sisi menggunggung dengan bidang datar. Sehingga jika kapal mengoleng melebihi sudut tersebut, maka muatan akan runtuh atau longsor. Untuk mengatasi terjadinya pergeseran muatan atau longsongnya muatan curah, biasanya dipasang *Shifting boards* ditunjukkan Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Sudut runtuh batubara dan *shifting boards* pada kapal ponton

Secara umum terdapat tiga jenis batubara, yaitu Anthracite, Bituminous, dan Lignite. Di mana massa jenis ketiga batubara tersebut adalah 800 - 929 kg/m³ (Anthracite), 673 - 913 kg/m³ (Bituminous), dan 641 – 865 kg/m³ (Lignite).

Berdasarkan data ukuran utama kapal, lebar kapal adalah 18 m, sehingga untuk mempermudah perhitungan dan analisa, bentuk muatan dianggap memiliki jari-jari 8 m atau diameter 16 m. Untuk tinggi muatan dihitung berdasarkan jari-jari dan sudut runtuh yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 4.12 Ilustrasi perhitungan tinggi muatan

Berdasarkan Gambar 4.12, maka tinggi muatan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Tinggi Muatan} &= 8 \text{ m} \times \tan 35 \\ &= 5,6 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka : } V &= (\text{tinggi muatan} \times \text{lebar ruang muat} \times \text{panjang ruang muat}):2 \\ &= (5,6 \times 16 \times 58) : 2 \\ &= 2598,4 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Untuk mendapatkan massa batubara dilakukan perhitungan dengan mengalikan volume dan massa jenis batubara:

$$\begin{aligned}m &= \rho \times V \\ &= 865 \times 2598,4 \\ &= 2.247.616,0 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Untuk mendapatkan besarnya gaya (F), massa setiap bagian muatan dikali dengan besarnya gravitasi yaitu $9,81 \text{ m/s}^2$ dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}F &= m \times a \\ &= 2.247.616,0 \times 9,81 \\ &= 22.049.112,96 \text{ N}\end{aligned}$$

Kemudian dimasukkan kedalam perhitungan tekanan beban (P) :

$$\begin{aligned}P &= F/A \longrightarrow A = \text{luas alas muatan (m}^2\text{)} \\ &= 22.049.112,96 / (16 \times 58) \\ &= 23.758,82 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

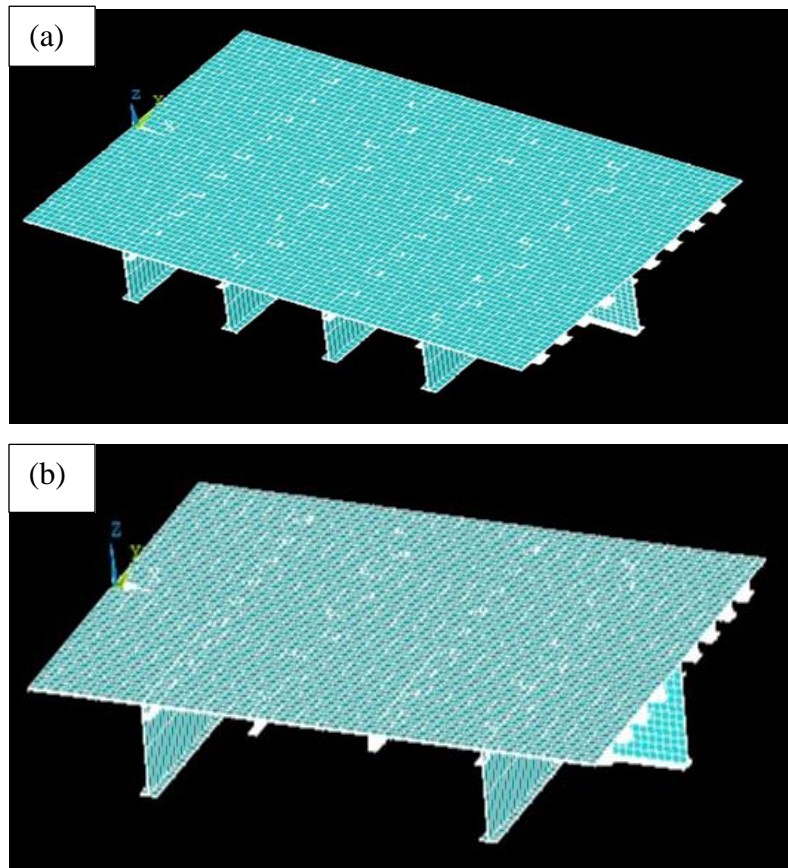
Jadi besar beban yang akan dialami oleh *main deck* pada ponton untuk *input* data pada *software* ansys adalah sebesar 23.758,82 N/m².

4.5. Aplikasi *Sandwich Panel* pada Struktur Kapal

Berdasarkan hasil dari pengujian *core material* dan identifikasi dari *sandwich panel*, maka selanjutnya akan disajikan analisa model secara numerik sebagai perbandingan dan validasi dari hasil pengujian material secara eksperimen. Dimana pemodelan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Finite Element Analysis* dengan bantuan perangkat lunak. Dimensi pemodelan yang dilakukan adalah 4500 x 3000 mm pada lokasi geladak atas (*main deck*) kapal dengan menggunakan struktur material *sandwich panel* dan sistem konstruksi konvensional pelat baja. dimana ukuran tersebut adalah ukuran dari jarak gading besar pada ponton.

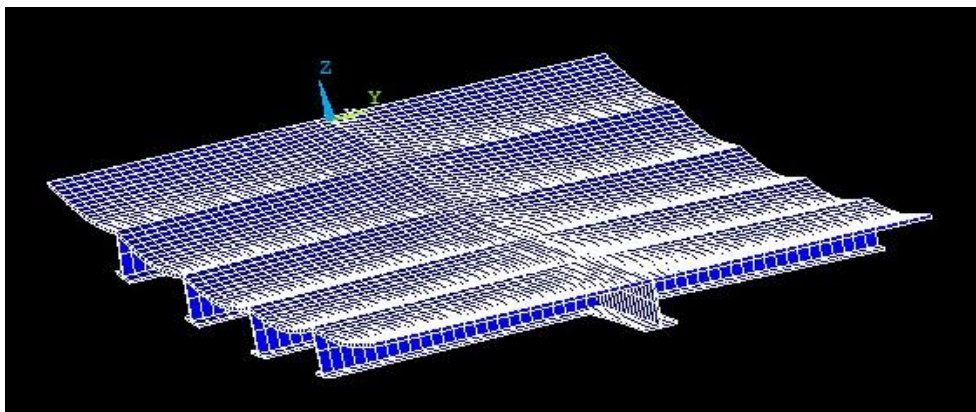
Langkah pemodelan diawali dengan membuat gambar bentuk 3 dimensi dari konstruksi *main deck* ponton dengan autocad. Gambar dari autocad kemudian diekspor ke Ansys untuk dilakukan *meshing* dan jenis material *sandwich panel* ini adalah jenis material heterogen. Setelah selesai *meshing*, dilanjutkan dengan input beban pada model dan selanjutnya dilakukan proses *running* untuk mengetahui tegangan dan deformasi yang terjadi pada struktur.

Pemodelan yang dilakukan dengan membandingkan antara *sandwich panel* dengan sistem konstruksi geladak atas kapal eksisting. Hal ini bertujuan sebagai verifikasi hasil pemodelan pada struktur *sandwich panel* dapat menggantikan sistem konstruksi konvensional. Hasil pemodelan struktur pada *sandwich panel* dan sistem konstruksi konvensional dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* ditunjukkan Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



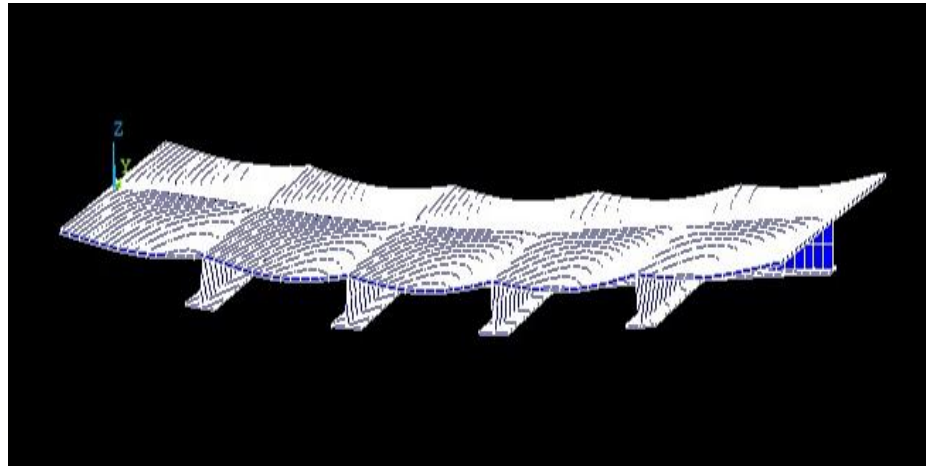
Gambar 4.13 *Finite Element Model*; (a) *Main deck* dengan sistem konstruksi konvensional, (b) *Main deck* dengan pembebanan

Berdasarkan hasil *running* dengan *software* Ansys, kondisi pembebanan pada *main deck* untuk ponton dengan sistem konstruksi konvensional diperoleh maksimum *stress*-nya sebesar 81,5 Mpa.



Gambar 4.14 Pemodelan pelat *sandwich panel core 10%*

Gambar 4.14 merupakan hasil *running* pada *software* Ansys untuk pemodelan pelat *sandwich panel* dengan *core* serbuk sekam 10% dan di peroleh tegangan maksimumnya 54,98 Mpa.



Gambar 4.15 Pemodelan pelat *sandwich panel core* 15%

Hasil *running* pada *software* Ansys untuk pemodelan pelat *sandwich panel* dengan *core* serbuk sekam 15% ditunjukkan Gambar 4.15 dan di peroleh tegangan maksimumnya 52,78 Mpa dan nilainya sama dengan tegangan maksimum untuk *core* serbuk sekam 10%. Tampak gambar lendutan pelat *sandwich panel core* sekam 15% lebih besar jika dibanding lendutan *core* sekam 10%. Berikut perbandingan tegangan maksimum antara pelat konvensional dengan *sandwich panel core* sekam 10% dan 15% ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Tegangan maksimum pada konstruksi *main deck* ponton

Konstruksi <i>main deck</i>	Tegangan maksimum (Mpa)			
	Model	Konv.	VON MISES	Selisih
Konvensional	81,5	81,5	149,13	0
<i>Core</i> sekam 10%	54,98	81,5	149,13	26,52
<i>Core</i> sekam 15%	52,78	81,5	149,13	28,72

Dari hasil analisa *finite element* didapatkan bahwa tegangan pada konstruksi konvensional lebih besar daripada konstruksi *sandwich* dengan selisih tegangan rata-rata sebesar 35,23%, hal ini menjadi dasar untuk mengurangi penegar. Titik *yield* material didapatkan dari perhitungan tegangan *Von Mises*. Dimana rumus *Von Mises* dihitung berdasarkan persamaan 4.1 (Kurowski, 2012).

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} + 3\tau_{xy}^2} \quad (4.1).$$

Dimana :

σ_{xx} = Tegangan Lentur pada sumbu x

σ_{yy} = Tegangan Lentur pada sumbu y

τ_{xy} = Tegangan Geser

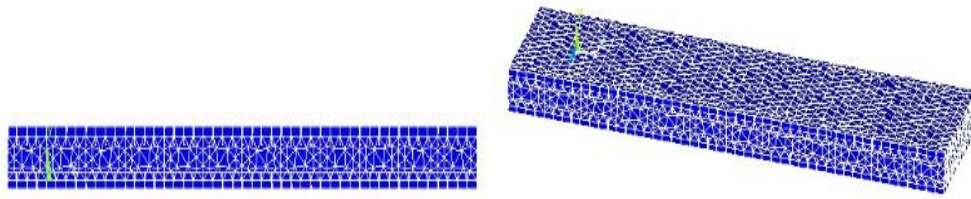
4.6. Analisa Respon Getaran Material *Sandwich Panel*

Dalam analisa respon getaran material *sandwich panel* akan dilakukan analisa numerik dan eksperimen, baik untuk pengujian material *core* kondisi utuh maupun kondisi cacat atau rusak.

4.6.1. Pemodelan *Sandwich Panel* dengan Metode FEM

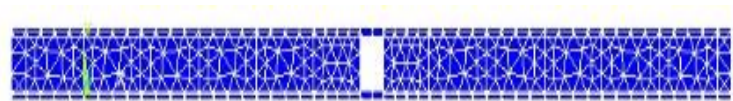
Analisa menggunakan analisa pemodelan dilakukan selain sebagai referensi dalam proses verifikasi hasil ekperimental. Pada percobaan ini, *mode* getaran yang diidentifikasi ini dilakukan sebagai verifikasi hasil frekuensi natural yang didapat dalam pengujian ekperimental *sandwich panel*.

Bentuk *mode* getaran yang terjadi pada spesimen uji, memiliki satu gelombang dengan arah memanjang pada benda. Pada Gambar 4.16 merupakan gambar hasil pemodelan *sandwich panel* dengan dimensi 240 x 60 mm pada *software*.



Gambar 4.16 Pemodelan *sandwich panel* pada *core* utuh

Kondisi pada pemodelan *modal analysis* yang dilakukan adalah kondisi jepit pada semua sisi dari panel. Hal ini diberikan karena disesuaikan dengan kondisi pada saat melakukan pengujian. Selain pada kondisi utuh yang telah digambarkan pada Gambar 4.16, maka model selanjutnya akan dirusak sesuai kondisi pengujian. Ukuran dari cacat yang dibuat lubang tembus melintang dengan ketinggian 15 mm (vertikal setinggi tebal *core* 15 mm) dengan lebar 8 mm. Gambar 4.17 merupakan model dari *sandwich panel* yang telah dibuat cacat pada material *core*-nya.



Gambar 4.17 Pemodelan *sandwich panel* dengan kondisi *core* cacat

Berikut ini hasil dari *modal analysis* pada *sandwich panel* untuk material *core* 10% dan 15% ditunjukkan pada Tabel 4.16 pada kondisi utuh dan kondisi cacat.

Tabel 4.16 Hasil *modal analysis* pada *sandwich panel*

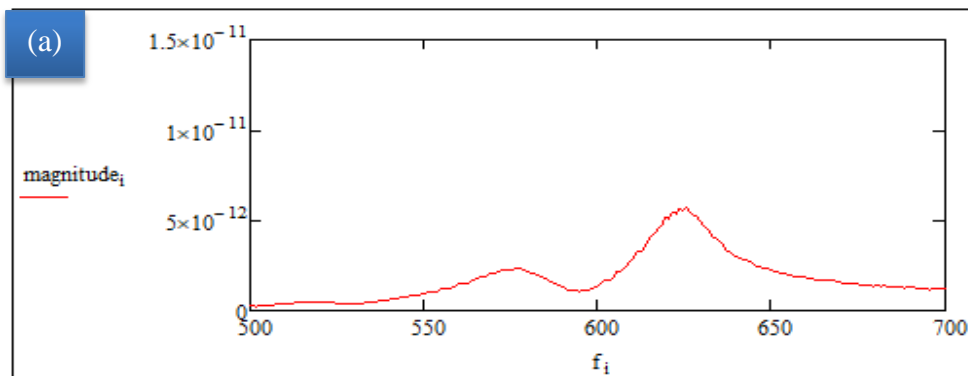
Material <i>core</i>	Frekuensi natural (Hz)		Perbedaan Frekuensi Natural (Hz)
	Utuh	Cacat	
10%	635,13	640,26	5,13
15%	589,71	560,22	29,49

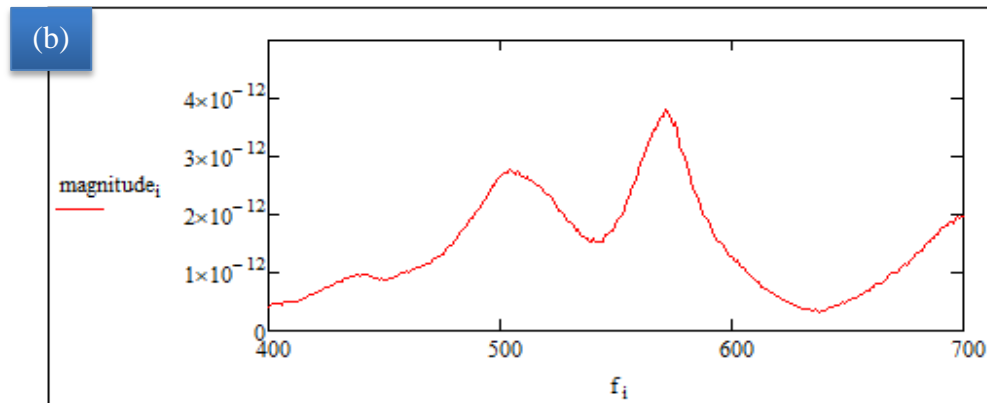
Tabel 4.16 menunjukkan adanya perbedaan frekuensi antara kedua jenis *core material*, dengan ketebalan *faceplate* dan material inti yang sama memiliki perbedaan nilai frekuensi yang berbeda. Apabila dilihat dari hasil dari *Modal Analysis* yang telah dilakukan didapat bahwa material *core* 10% memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan material *core* 15%, hasil ini dipengaruhi oleh persentase berat serbuk sekam yang digunakan pada bahan material intinya sehingga membuat kekakuan yang berbeda antara kedua jenis material tersebut. Perbedaan nilai frekuensi natural pada material *core* 10% pada kondisi utuh dan cacat sebesar 5,13 Hz, dimana ini terjadi kenaikan nilai frekuensi naturalnya. Sedangkan perbedaan nilai frekuensi natural pada material *core* 15% sebesar 29,49 Hz dan tren nilai frekuensinya naturalnya turun.

4.6.2. Hasil Eksperimen Getaran *Sandwich Panel*

a) *Core* Kondisi Utuh

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti Gambar 3.21, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 5 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan 12 kali pemukulan sehingga menghasilkan 12 data spektrum getaran dalam time domain. Kemudian data hasil pemukulan dipilih lagi sebanyak 6 data yang terbaik untuk diolah dengan *software* Mathcad. Gambar 4.18 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.





Gambar 4.18 Hasil pengolahan data pengujian getaran *sandwich panel* kondisi utuh: (a) *core* 10%, (b) *core* 15%

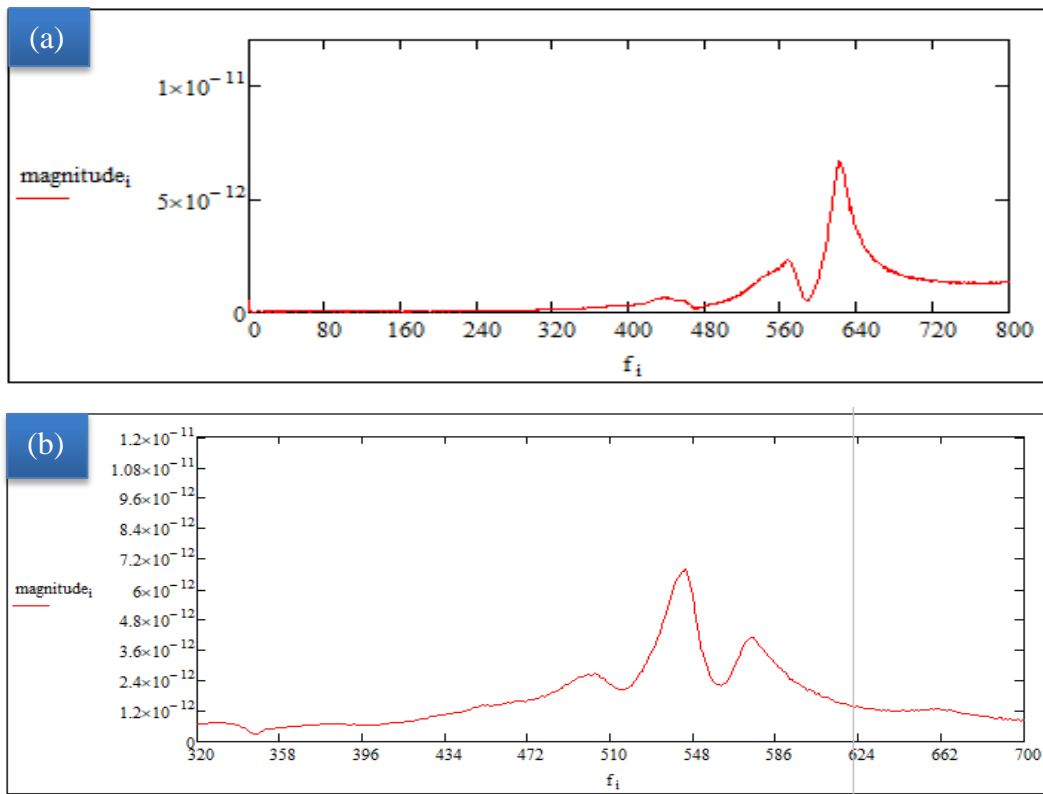
Nilai frekuensi natural pada material *sandwich panel* kondisi utuh hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Frekuensi natural *sandwich panel* kondisi utuh

Material <i>core</i>	Frekuensi natural (Hz)
10%	625,5
15%	575

b) *Core* Kondisi Cacat

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti Gambar 3.21, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 5 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan 12 kali pemukulan sehingga menghasilkan 12 data spektrum getaran dalam time domain. Gambar 4.19 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran pada *Sandwich Panel* kondisi cacat setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



Gambar 4.19 Hasil pengolahan data pengujian getaran *sandwich panel* kondisi cacat: (a) 10%, (b) 15%

Besaran frekuensi natural pada material *sandwich panel* kondisi cacat hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Frekuensi natural *sandwich panel* kondisi cacat

Material core	Frekuensi natural (Hz)
10%	623
15%	544

4.6.3. Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Utuh

Berikutnya adalah proses verifikasi hasil dengan membandingkan kedua hasil pengujian antara analisa numerik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan variabel kontrol dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa pemodelan.

Tabel 4.19 Perbandingan analisa dan eksperimen *sandwich panel* kondisi utuh

<i>Core Material</i>	Frekuensi Natural (Hz)		Perbedaan Frekuensi Natural (Hz)
	Analisa	Eksperimen	
10%	635,13	625,5	9,63
15%	589,71	575	14,71

Tabel 4.19 menunjukkan angka frekuensi natural yang dihasilkan dari analisa dengan pemodelan numerik dan ekperimental, dimana tren yang dimiliki antara analisa model dan percobaan eksperimen adalah menurun. Perbedaan pada setiap jenis *core* dengan komposisi yang berbeda akan mengalami penurunan frekuensi pada material tersebut. Jadi *core material* 15% frekuensi natural yang dimiliki lebih kecil dibandingkan dengan *core material* 10%, sama seperti penjelasan sebelumnya perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekakuan suatu material. Semakin besar nilai modulus elastisitas pada material tersebut maka memiliki frekuensi yang tinggi dibandingkan yang lainnya. Seperti yang digambarkan pada grafik Gambar 4.19 yang menunjukkan hasil pengujian *sandwich panel* pada kondisi utuh.

Frekuensi natural *sandwich panel* utuh pada material *core* 10% memiliki perbedaan dengan besaran 1,52%, sedangkan untuk material *core* 15% memiliki perbedaan frekuensi natural sebesar 3%.

4.6.4. Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Cacat

Proses verifikasi selanjutnya dilakukan pada material *sandwich panel* yang telah diberikan cacat pada *core* seperti yang telah digambarkan pada Gambar 3.23 sehingga hasil dari frekuensi pada material dengan kondisi cacat ditunjukkan pada tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20 Perbandingan analisa dan eksperimen *sandwich panel* kondisi cacat

<i>Core Material</i>	Frekuensi Natural (Hz)		Perubahan Frekuensi Natural (Hz)
	Analisa	Eksperimen	
10%	640,26	623	17,26
15%	560,22	544	16,22

Tabel 4.20 menunjukkan angka frekuensi natural yang dihasilkan dari analisa dengan pemodelan numerik dan eksperimental, dimana tren yang dimiliki antara analisa *model* dan percobaan *experiment* adalah menurun. Perbedaan pada setiap jenis *core* dengan komposisi yang berbeda akan mengalami penurunan frekuensi pada material tersebut. Jadi *core material* 15% frekuensi natural yang dimiliki lebih kecil dibandingkan dengan *core material* 10%, sama seperti penjelasan sebelumnya perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekakuan suatu material. Persentase perbedaan nilai frekuensi natural material *core* 10% cacat adalah sebesar 2,7%, sedangkan untuk material *core* 15% cacat memiliki perbedaan frekuensi natural sebesar 2,9%.

4.6.5. Hasil dan Analisa *Damping Ratio Sandwich Panel*

Berikutnya adalah menentukan karakteristik dinamis lainnya pada pengujian ini yaitu *damping ratio*. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dengan perbedaan komposisi pada *core* mampu meredam suatu getaran. Pengolahan data menggunakan metode estimasi dengan formula 2.13. Berikut hasil kalkulasi nilai *damping ratio* dari material *sandwich panel* ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Data *damping ratio sandwich panel*

Material <i>core</i>	ζ_r (%)
10% Utuh	0,96
10% Cacat	0,8
15% Utuh	0,96
15% Cacat	0,83

Dari tabel diatas telah diperoleh nilai masing-masing *damping ratio* pada material *core* 10% dan 15% untuk kondisi utuh maupun cacat dan terlihat bahwa material *core* 10% dan 15% pada kondisi utuh memiliki nilai *damping ratio* yang sama dan nilainya mendekati nilai 1, maka semakin bagus material tersebut dalam meredam getaran.

4.7. Perubahan Berat Konstruksi

Pada tahap ini adalah melakukan kalkulasi berat konstruksi antara berat kapal konvensional yang masih menggunakan material baja dan dibandingkan dengan berat konstruksi yang menggunakan material *sandwich panel*. Kalkulasi ini meliputi berat konstruksi yang terletak pada konstruksi *main deck* kapal ponton.

Berikut ini adalah kalkulasi berat konstruksi yang terdapat pada konstruksi *main deck* kapal ponton eksisting yang tersaji pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Berat konstruksi *main deck* ponton

No.	Bagian	Berat (ton)
1	Pelat <i>main deck</i>	105,975
2	12 Penegar (L) pada <i>port & starboard</i>	7,371
3	2 Penegar (I) pada <i>port & starboard</i>	0,73476
4	1 <i>center girder</i>	7,51
5	2 <i>side girder</i>	21,2
Total		142,8

Dalam perencanaan kapal *sandwich panel* ini tidak lagi memasang penegar-penegar dan hanya menggunakan 3 *girder* yang tetap dipasang pada konstruksi *main deck*. Sehingga kalkulasi berat konstruksi pelat *sandwich panel* ditunjukkan pada Tabel 4.23 berikut.

Tabel 4.23 Kalkulasi berat konstruksi *main deck* dengan *sandwich panel*

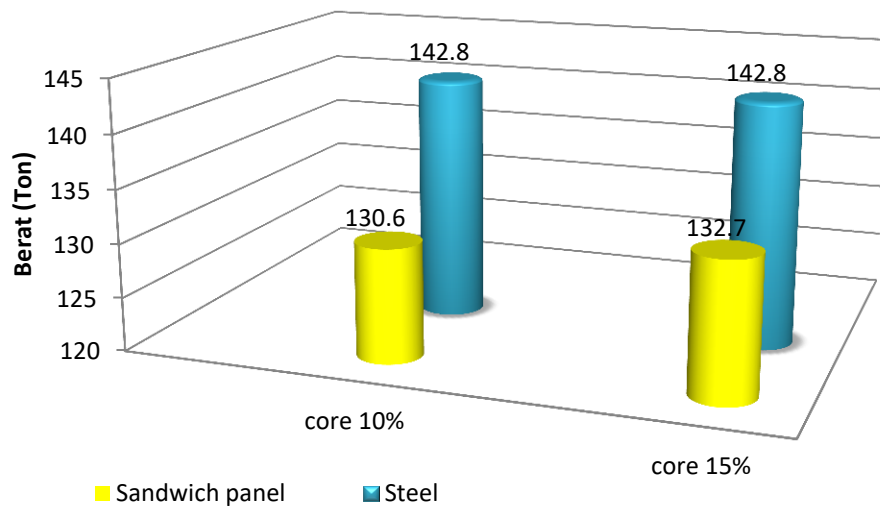
No	Bagian	Berat (ton)	
		Core sekam 10%	Core sekam 15%
1	Pelat <i>main deck</i>	114,7	116,8
2	3 <i>girder</i>	5,3	5,3
Total		130,6	132,7

Perbandingan berat konstruksi *main deck* antara *sandwich panel* dengan kapal konvensional tersaji dalam Tabel 4.24 dan ditunjukkan pada Gambar 4.20 berikut.

Tabel 4.24 Perbandingan berat konstruksi *main deck sandwich panel* dan konvensional

<i>Core material</i>	Berat konstruksi (Ton)		(%)
	<i>Steel</i>	<i>Sandwich panel</i>	
10%	142,8	130,6	-8,54
15%	142,8	132,7	-7,1
		Rata-rata	-7,82

Reduksi berat konstruksi *sandwich panel* ini terletak pada pengurangan berat penegar-penegar di *main deck* kapal ponton sebesar 8,11 ton, baik penegar-penegar yang terletak di *portside* dan *starboard*.



Gambar 4.20 Perbandingan berat konstruksi antara sandwich panel dengan sistem konvensional

Tabel 4.24 dan Gambar 4.20 memberikan gambaran tentang perubahan berat konstruksi yang terjadi pada komposisi berat serbuk sekam 10% dan 15% pada material inti dari *sandwich panel*. Komposisi *core* 10% bisa memberikan reduksi berat konstruksi baru sebesar 8,54%, sedangkan komposisi *core* 15% dapat memberi penurunan berat konstruksi sebesar 7,1%. Dan rata-rata pengurangan berat konstruksi yang terjadi sebesar 7,82%. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *sandwich panel* pada konstruksi *main deck* kapal ponton mampu mereduksi berat dari konstruksi kapal dengan adanya kesederhanaan bentuk konstruksi yang dihasilkan. Namun, tidak mengurangi segi kekuatan struktur pelat tersebut. Dan pengurangan berat konstruksi diperoleh dari pengurangan atau tiadanya berat dari penegar-penegar pada *main deck*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dalam pembuatan material inovatif dalam bentuk *sandwich panel* untuk konstruksi kapal, maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

1. Pada penelitian ini dilakukan pengujian 6 komposisi material *core* yaitu persentase berat serbuk sekam 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 30% yang berbahan inti material *epoxy resin* dan serbuk sekam.
 - Berdasarkan uji densitas, material *core* semua komposisi lolos kriteria LR yaitu $> 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ at room temperature}$.
 - Berdasarkan uji kekerasan, material *core* semua komposisi memenuhi kriteria LR yaitu Shore D $> 65 \text{ at room temperatur}$.
 - Berdasarkan pengujian *tensile strength* diperoleh nilai modulus elastisitas dan *elongation break* komposisi 0%, 5%, 10% dan 15% yang lolos kriteria LR.
 - Berdasarkan pengujian kompresive material *core* diperoleh bahwa penambahan persentase berat serbuk sekam dapat menurunkan kekuatan tekannya.
2. Berdasarkan hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa *core material* 10% memiliki kekuatan lentur paling tinggi dibandingkan dengan komposisi *core* 15% dengan perbedaan sebesar 14,72%. Sehingga dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, maka dipilih material dengan persentase berat serbuk sekam 10% dipilih sebagai komposisi terbaik untuk digunakan pada material inti dari *Sandwich Panel*.
3. Pengujian getaran yang dilakukan menunjukkan bahwa, pengaruh adanya cacat pada material inti *Sandwich Panel* terjadi penurunan frekuensi naturalnya. Untuk material *core* 10% penurunannya sebesar 0,4%, sedangkan material *core* 15% sebesar penurunannya 5,4%. Pengaruh

adanya cacat pada material *Sandwich Panel* menurunkan nilai *damping ratio*-nya.

4. Berdasarkan hasil analisa aplikasi pada struktur kapal, *sandwich panel* mampu memberikan pengurangan berat konstruksi yang terjadi pada model *main deck* sebesar 7,82%. *Sandwich Panel* dapat memberikan kesederhanaan bentuk konstruksi *main deck*, dengan tidak mengurangi nilai kekuatan dari konstruksi, sehingga menghasilkan bentuk konstruksi yang lebih ringan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Analisa perubahan berat konstruksi sampai dengan peningkatan muatan kapal dari pengaplikasian *sandwich panel* di konstruksi geladak hanya terbatas menggunakan kapal pembanding berupa kapal ponton dan ini perlu dilanjutkan analisa dengan kapal pembanding tipe lainnya.
2. Material *sandwich panel* yang dibuat masih dalam skala terbatas untuk keperluan pengujian pada alat uji, sehingga belum dapat disimpulkan material berhasil untuk diaplikasikan sebelum adanya bentuk *sandwich panel* yang dibuat dalam skala penuh, yaitu sesuai dengan kebutuhan dimensional panel dari perubahan jarak penegar dan penumpu pada konstruksi geladak.

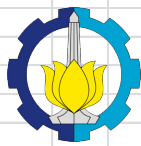
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Waily, M. (2013), "*Experimental and Numerical Vibration Study of Woven Reinforcement Composite Laminated Plate with Delamination Effect*", Reaserch Gate.
- American Bureau of Shipping.(2006),"*Guidance Notes on Ship Vibration*", ABS, New York.
- Brooking.M.A., Kennedy.S.J. (2004),"*The performance, Safety and Production benefits of SPS structures for Double Hull Tankers*", in proceedings of the RINA conference on Double Hull Tankers,25-26.02.2004, London, UK, PP.1-2.
- Det Norske Veritas. (2012),"*Steel Sandwich Panel Construction*", Classification notes, No.30.11.
- Der Norske Veritas. (2013),"*Strength Analysis of Liquid Gas Carriers with independent Type A Prismatic Tanks*", Classification notes, No.30.11.
- IACS.(2006),"*Background Document – Materials and Welding*", Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers, International Association of Classification Societies Ltd.
- Intellegent Engineer,(2016)"*SPS The Sandwich Plate System Heavy Engineering Composite from Intelligent Engineering*", <http://www.ie-sps.com/>.
- Jweeg M.j., Hammood. A., Al-Wally, (2012) "*Experimental and Numerik Study of Oblique Crack Effect on Natural Frequency of Different Composite Plate Structure Types*", Asian Transaction on Engineering.
- Llyod's Register.(2006),"*Provositional rules for the application of sandwich panel construction to ship structure*", LR, UK.
- Gere. J.M, Timoshenko.S.P. (1972), *Strength of Materials*, Jilid 1 & 2 Edisi ke-4, Penerbit Erlangga., Indonesia.
- Ewins, D.J. (1984), "*Modal Testing : Theory and Practice*", Reasearch Studies Press, England
- Goldman, S. (1999), "*Vibration Spectrum Analysis*", Industrial Press Inc, New York

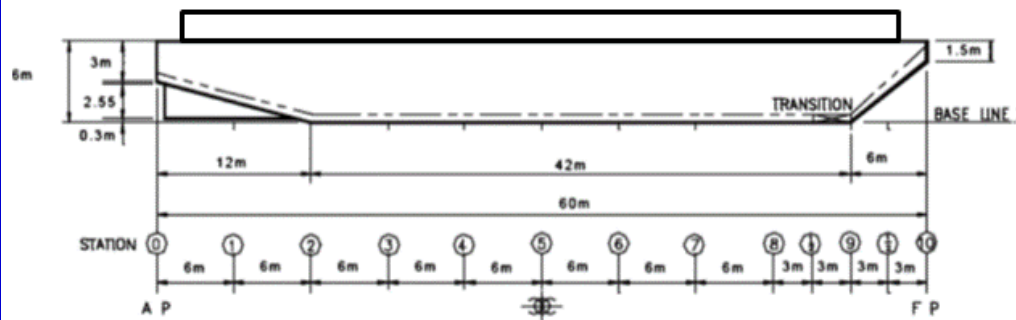
- Gopichand,A., Krishnaiah,G., Reddy,D., Shankar, N.V.S.(2013) “*Modal Analysis of a Steel Sandwich Plate System (SPS) Floor*” IJERT.
- Jimin, He. Fu, Zhi-Fang.(2001), “*Modal Analysis*”, Butterworth Heinemann,Great Britain
- Randall, R.B. Tech, B. (1987) “*Frequency Analysis*”, Larsen&Sen, Denmark
- Saito, A. Castanier, M.p. (2008),”*Vibration Response of Cracked Cantilever Plates Near Natural Frequency Veerings*” AIAA, Illinois.
- Logan, Daryl L. (2007), “*A First Course in the Finite Element Method*”, Thomson Canada Limited, USA
- Momcilovic.N., Motok.M. (2009),”*Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*”, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- Ramakrishnan. K, Kumar, P.(2016).”*Application of Sandwich Plate System for Ship Structures*”, Aries Internasional Research Institute, UAE
- Winahyu, I.H. (2017).”*Analisa Kerusakan Material Sandwich Panel Pada Konstruksi Kapal Menggunakan Getaran*”, Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Utomo,Edy (2016).”*Penggunaan Sandwich Panel (Pelat Baja dan Synthetic Resin) Pada Konsruksi Kapal*”, Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASTM D638, *Standard test method for tensile properties of plastics*, American National Standard Institute, United States.
- ASTM D575, *Standard test method for rubber properties in compression*, American National Standard Institute, United States.
- ASTM C393, *Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*, American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 2240, *Standard test method for rubber property*, American National Standard Institute, United States.

LAMPIRAN-LAMPIRAN



LAMPIRAN 1			
GEOMETRIK DATA KAPAL, UKURAN UTAMA KAPAL DAN DATA KONSTRUKSI			
Nama Kapal	:	YUDI'S LINE	
Type Kapal	:	PONTON / TONGKANG	
Sistem Konstruksi	:	MELINTANG	
Kelas	:	BKI	

I. GENERAL ARRANGEMENT.



II. UKURAN UTAMA KAPAL.

a. Panjang (L)

Panjang (L) adalah jarak pada garis air muat dari linggi haluan ke belakang kemudi atau garis sumbu tongkat kemudi jika tidak ada linggi kemudi. Dimana tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak lebih besar dari 97% LWL.

Dimana :
 $Loa = 60.00$ m
 $Lpp = 60$ m

b. Lebar (B)

Lebar kapal adalah jarak terbesar pada kapal yang diukur dari kulit bagian dalam.

Dimana :
 $B = 18.00$ m

c. Tinggi (H)

Tinggi kapal adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang kapal (L), dari garis dasar ke bagian atas dari balok geladak dibagian sisi geladak menerus yang paling atas.

Dimana :
 $H = 7.00$ m

d. Sarat (T)


Sarat (T) merupakan jarak vertikal pada titik tengah panjang kapal (L), dari dasar ke tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas.

Dimana :
 $T = 4.6$ m

e. Service Speed (Vs)

Service speed (Vs), adalah

Dimana :
 $Vs = 5.00$ knot

		LAMPIRAN 2										
		PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG										
		Nama Kapal	:	YUDI'S LINE								
		Type Kapal	:	PONTON								
		Sistem Konstruksi	:	MELINTANG								
		Kelas	:	BKI								
PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG												
No	Nama bagian	Jml	Lebar	Tinggi	Sudut Thdp Bid. Horizontal	Luas Total	Titik berat thd Base	Momen Luas	Momen Inersia			M.Inersia Individu
			(cm)	(cm)	(derajat)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ⁴)	$I_x \cos^2 \alpha$	$I_y \sin^2 \alpha$	
		[n]	[b]	[h]	[α]	[A _T]	[Z]	[A _T x z]	[A _T x z ²]	[I _x = 1/12 x b x h ³]	[I _y = 1/12 x h x b ³]	[I _x cos ² α + I _y sin ² α]
1	PELAT :											
	alas	1	1690	1.25	0	2112.5	0.63	1320.31	825.20	275.07	0.00	275.07
	sisi (PS & SB)	2	1.25	587.75	0	1469.375	306.13	449812.42	137698827.65	21149820.23	0.00	21149820.23
	deck	1	1800	1.25	0	2250	599.38	1348593.75	808313378.91	292.97	0.00	292.97
	bilga (PS & SB)	2	1.25	95.0	20	237.5	47.50	11281.25	535859.38	46411.21	7.43	46418.64
	bulkhead (PS & SB)	2	1.1	600	0	1320	300.00	396000.00	118800000.00	19800000.00	0.00	19800000.00
2	GIRDER :											
	center girder bottom :											
	web	1	1.875	60.0	0	112.5	31.25	3515.63	109863.28	33750.00	0.00	33750.00
	face	1	22.5	2.5	0	56.25	62.50	3515.63	219726.56	29.30	0.00	29.30
	side girder bottom :											
	web (PS & SB)	4	1.875	30.0	0	225	16.25	3656.25	59414.06	4218.75	0.00	4218.75
	face (PS & SB)	4	22.5	2.5	0	225	32.50	7312.50	237656.25	29.30	0.00	29.30
	center girder top :											
	web	1	1.875	45	41	84.375	597.75	50435.16	30147614.6	7134.14	12.33	7146.47
	face	1	30	2.5	0	75	594.25	44568.75	26484979.69	39.06	0.00	39.06
	side girder top :											
	web (PS & SB)	4	1.875	30	0	225	585.00	131625.00	77000625.00	4218.75	0.00	4218.75
	face (PS & SB)	4	22.5	3	0	225	568.75	127968.75	72782226.56	29.30	0.00	29.30
3	FRAME :											
	side longt. 1 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	52.5	1228.50	64496.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	55.625	759.28	42235.02	43.54	0.00	43.54
	side longt. 2 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	112.5	2632.50	296156.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	115.625	1578.28	182488.77	43.54	0.00	43.54
	side longt. 3 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	172.5	4036.50	696296.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	175.625	2397.28	421022.52	43.54	0.00	43.54
	side longt. 4 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	232.5	5440.50	1264916.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	235.625	3216.28	757836.27	43.54	0.00	43.54
	side longt. 5 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	292.5	6844.50	2002016.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	295.625	4035.28	1192930.02	43.54	0.00	43.54
	side longt. 6 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	352.5	8248.50	2907596.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	355.625	4854.28	1726303.77	43.54	0.00	43.54
	side longt. 7 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	412.5	9652.50	3981656.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	415.625	5673.28	2357957.52	43.54	0.00	43.54
	side longt. 8 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	472.5	11056.50	5224196.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	475.625	6492.28	3087891.27	43.54	0.00	43.54
	side longt. 9 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	532.5	12460.50	6635216.25	0.59		0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	535.625	7311.28	3916105.02	43.54	0.00	43.54
	bulkhead longt. 1 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	52.5	1228.50	64496.25	0.59		0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	55.625	759.28	42235.02	43.54	0.00	43.54
	bulkhead longt. 2 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	112.5	2632.50	296156.25	0.59	0.00	0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	115.625	1578.28	182488.77	43.54	0.00	43.54
	bulkhead longt. 3 (PS & SB) :											
	web	2	15	0.78	0	23.4	172.5	4036.50	696296.25	0.59		0.59
	face	2	0.78	8.75	0	13.65	175.625	2397.28	421022.52	43.54		43.54



LAMPIRAN 3
KALKULASI KETEBALAN PANEL SANDWICH

Nama Kapal : YUDI'S LINE
Type Kapal : PONTON
Sistem Konstruksi : MELINTANG
Kelas : BKI

L KETEBALAN MINIMUM LAPISAN FACE PLATE

Ketebalan minimum dari rancangan panel sandwich, dihitung berdasarkan persamaan berikut ini, berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh LR (2015).

Tabel A : Minimum thicknesses

Item	Minum thickness in mm	
	New construction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness

The thickness of the core is not to be less than:

$$t_c = 15 \text{ mm}$$

Tabel B : Thickness allowance

Struture	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
Bottom shell	1	0	1
Side shell	1	0	1
Inner bottom, hopper plating	2	1	1
Inner bottom, at crown of tank	3.5	1	2.5
Strength deck	2.5	2.5	0
Internal deck	0	0.0	0
Superstructure Deck	0	0.0	0
Watertight bulkheads	0	0.0	0
Deep tank bulkheads	2.5	0.0	2.5
Deep tank crown which is also a deck	3.5	1.0	2.50
Vehicle deck clear of tanks	2	2	0

Strength Indeks R

$$R = 0,01 A_R \left[0,1 \frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}$$

Dimana : $A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,56}$

$$P_{eq,R} = 0,0017 \frac{Z_{rule}}{l^2} \text{ in N/mm}^2$$

l = length of panel, in meters

Z_{rule} = equivalent section modules, in cm^3 , see Ch 3, 4.4 Thickness of sandwich panel

t_c = selected core thickness, in mm

a, b, d = see Ch 1, 7.2 Symbols

t_1, t_2 = thicknesses of the top bottom plating, in mm, see Figure 3.4.2 Determination of top and bottom plate thickness and core thickness

k = see Pt 3, Ch 2, 1.2 Steel of the Rules for Ship

t_{rules} = 12.5 mm existing

t_c = 15 mm

t_{aR} = 2.5 mm

t_{a1} = 2.5 mm

t_{a2} = 0 mm

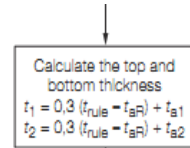
a = 2400 mm (length of the panel at longest edge, in mm)

b = 1500 mm (breadth of the panel at shortest edge, in mm)

t_1 = 5.5 mm (Thickness of the top plate, in mm)

6 mm

$$\begin{aligned}
 t_2 &= 3 \text{ mm} \quad (\text{thickness of the bottom plate, in mm}) \\
 A_R &= \frac{3 \text{ mm}}{1.36} \\
 P_{eq,R} &= 0.04 \text{ N/mm}^2 \\
 Z_{Rules} &= 1\text{E}+06 \\
 l &= 240 \text{ mm} \\
 d &= 27 \text{ mm} \\
 k &= 1 \\
 R &= 0.5836 \quad \text{oke}
 \end{aligned}$$



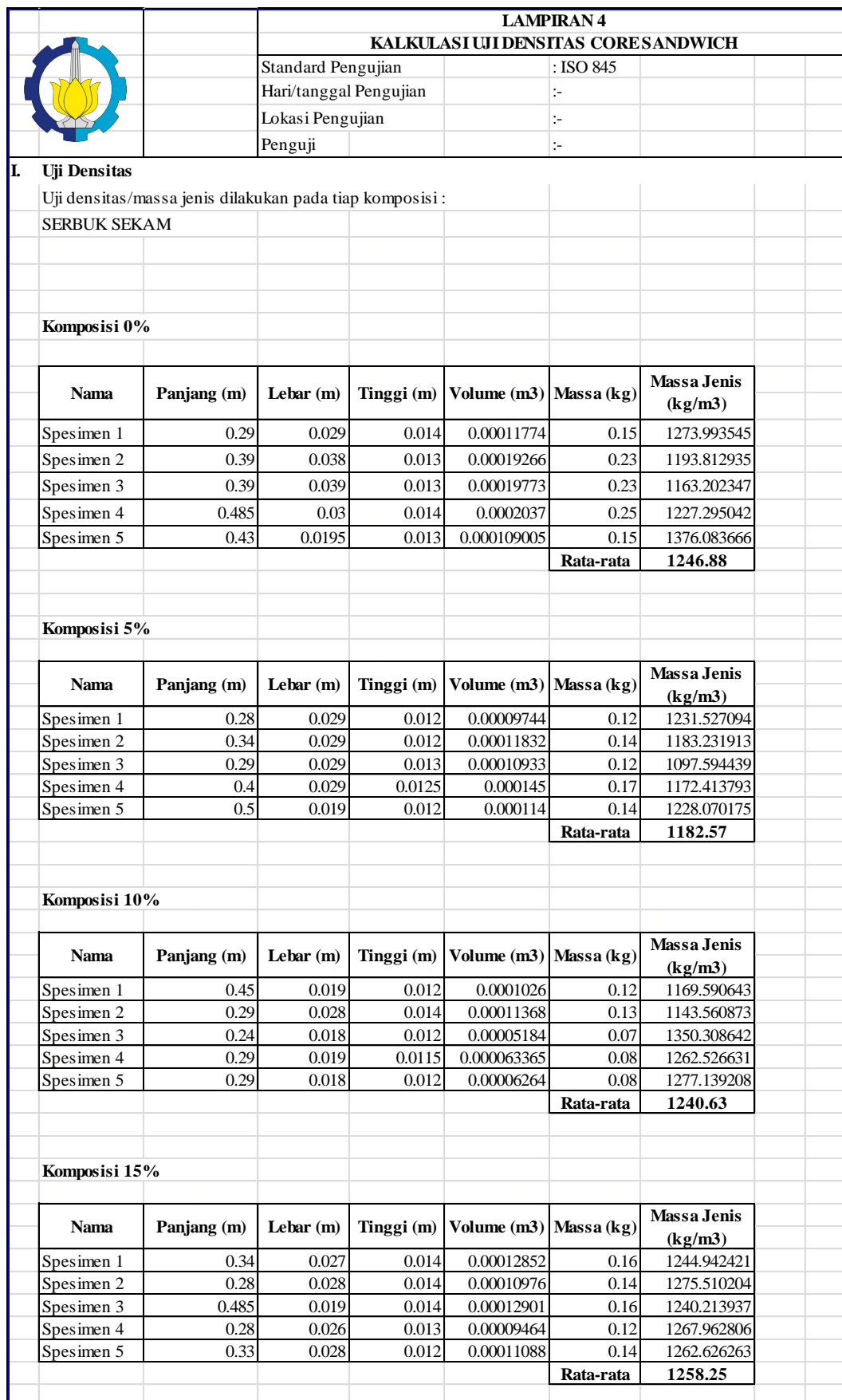
$$R = 0,01 A_R \left[0,1 \frac{b^2}{d (t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}$$

a = length of the panel at longest edge, in mm
 b = breadth of the panel at shortest edge, in mm
 d = $0,5(t_1 + t_2) + t_c$, in mm
 t_1 = thickness of the top plate, in mm
 t_2 = thickness of the bottom plate, in mm
 t_{a1} = thickness allowance for the top plate, in mm
 t_{a2} = thickness allowance for the bottom plate, in mm
 t_c = thickness of the core, in mm

t rules	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}	Face plate	
				t1	t2
12,5	2,5	2,5	0	5,5	3

Pembulatan

Nama bagian	t_c (mm)	a (mm)	b (mm)	A_R	Z_{rule}	l	P_{eqR} (Mpa)	Face Plate			d (mm)	R	$R \leq 1$
								$t1$	$t2$	k			
MAIN DECK	15	2400	1500	1.36	1E+06	240	0.04	6	6	1	27	0.45	oke
	20	2400	1500	1.36	1E+06	240	0.04	6	6	1	32	0.38	oke
	25	2400	1500	1.36	1E+06	240	0.04	6	6	1	37	0.32	oke
	30	2400	1500	1.36	1E+06	240	0.04	6	6	1	42	0.29	oke
	35	2400	1500	1.36	1E+06	240	0.04	6	6	1	47	0.26	oke



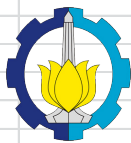
Komposisi 20%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.38	0.039	0.0135	0.00020007	0.23	1149.597641
Spesimen 2	0.48	0.029	0.012	0.00016704	0.21	1257.183908
Spesimen 3	0.33	0.019	0.012	0.00007524	0.1	1329.080276
Spesimen 4	0.29	0.024	0.0105	0.00007308	0.1	1368.363437
Spesimen 5	0.29	0.0285	0.0105	8.67825E-05	0.1	1152.306052
					Rata-rata	1251.31

Komposisi 30%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.265	0.014	0.013	0.00004823	0.06	1244.03898
Spesimen 2	0.21	0.019	0.0135	0.000053865	0.06	1113.895851
Spesimen 3	0.26	0.018	0.013	0.00006084	0.07	1150.558843
Spesimen 4	0.265	0.022	0.013	0.00007579	0.1	1319.435282
Spesimen 5	0.28	0.019	0.0135	0.00007182	0.09	1253.132832
					Rata-rata	1216.21

Persentase	Massa Jenis (kg/m3)
0%	1246,88
5%	1182,57
10%	1240,63
15%	1258,25
20%	1251,31
30%	1216,21



LAMPIRAN 4
KALKULASI UJI DENSITAS SANDWICH PLATE

Standard Pengujian	: ISO 845
Hari/tanggal Pengujian	:-
Lokasi Pengujian	:-
Penguji	:-

I. Uji Densitas

Uji densitas/massa jenis dilakukan pada tiap komposisi : SERBUK SEKAM

Komposisi 10%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.2	0.068	0.027	0.0003672	1.43	3894.33512
Spesimen 2	0.2	0.067	0.027	0.0003618	1.44	3980.099502
Spesimen 3	0.2	0.068	0.027	0.0003672	1.45	3948.801743
Spesimen 4	0.2	0.069	0.027	0.0003726	1.46	3918.411165
Spesimen 5	0.2	0.068	0.027	0.0003672	1.44	3921.568627
					Rata-rata	3932.64

Komposisi 15%

Nama	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Massa (kg)	Massa Jenis (kg/m3)
Spesimen 1	0.2	0.068	0.027	0.0003672	1.456	3965.141612
Spesimen 2	0.2	0.068	0.027	0.0003672	1.476	4019.607843
Spesimen 3	0.2	0.069	0.027	0.0003726	1.453	3899.624262
Spesimen 4	0.199	0.069	0.026	0.000357006	1.472	4123.180003
Spesimen 5	0.2	0.067	0.027	0.0003618	1.453	4016.030956
					Rata-rata	4004.72

TABEL DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL			
Hari Pengujian	: -	Standarisasi Dimensional	: ASTM C 393
Tanggal Pengujian	: -	Standarisasi Pengujian	: ASTM C 393
Lokasi Pengujian	: Laboratorium Material Koamatim AL - Tanjung Perak, Surabaya	Di Uji Oleh	: AZ TEAM
Type Alat Uji	: -		
Dimensi Spesimen Sandwich Panel			

Rekapitulasi nilai G		
FACE PLATE 6 mm	G	τ
Core material 10%	161.869	9.41
Core material 15%	216.372	7.86

[illegible]

LAMPIRAN UJI TARIK

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 0 % KE-1 ITS

AZ TEAM

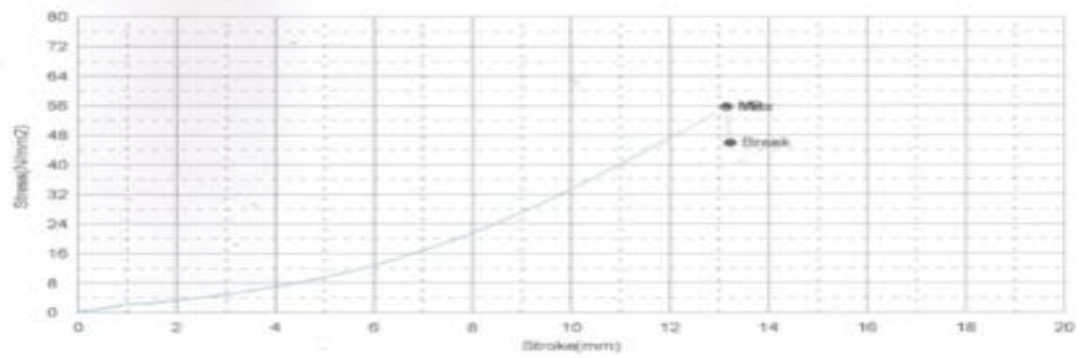
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	13,9300	19,8900	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	15,4187	13,1490	55,6498	26,2980	15,4187

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	13,1490	55,6498	26,2980	12,7188	13,2210

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	45,9048	26,4420



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 0 % KE-2 ITS

AZ TEAM

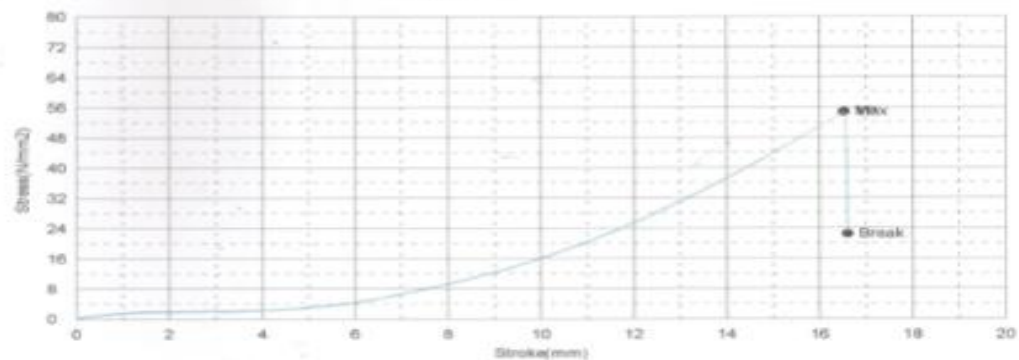
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	13,9900	19,7600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	15,0906	16,5045	54,5887	33,0090	15,1438

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	16,5255	54,7809	33,0510	6,20625	16,6020

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	22,4504	33,2046



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 5 % KE-1 ITS

AZ TEAM

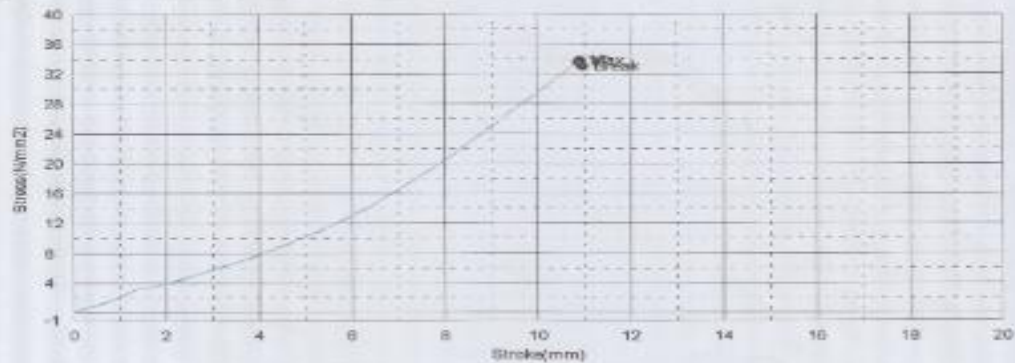
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	12,2500	19,7400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,12813	10,8670	33,6130	21,7340	8,17500

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,9080	33,8068	21,8180	7,88438	10,9680

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	33,0185	21,9360



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 5 % KE-2 ITS

AZ TEAM

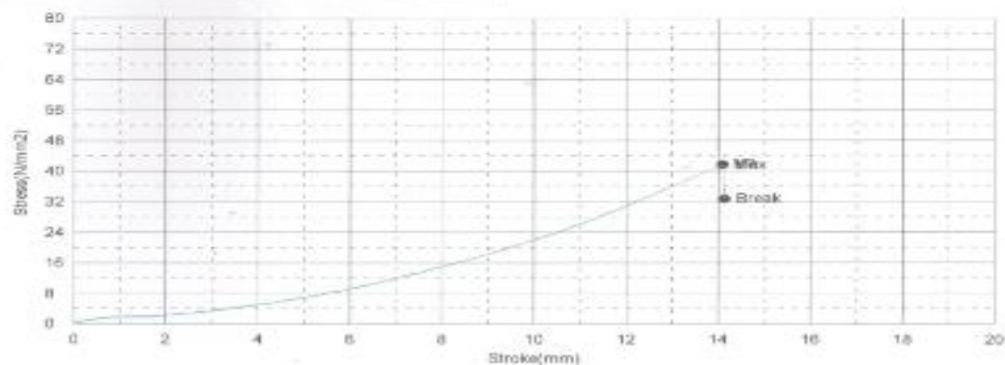
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	12,6200	19,6100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,2875	14,0790	41,5693	28,1580	10,3094

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	14,0695	41,6577	28,1990	8,10938	14,1415

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	32,7680	28,2830



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 5% KE-3 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

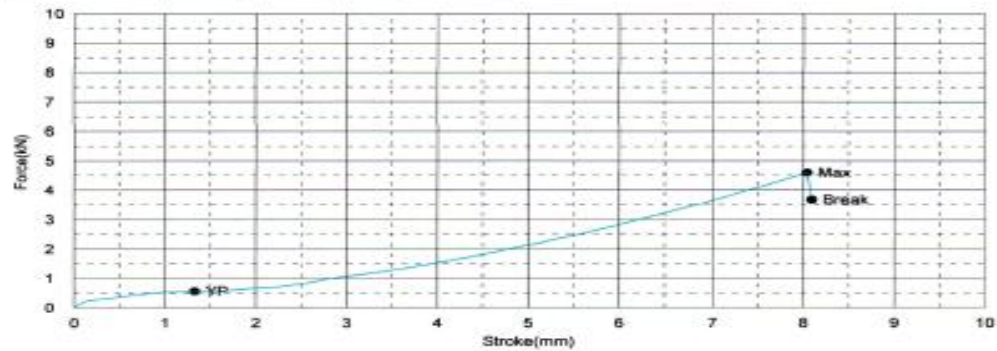
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	12,4600	19,6000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	,56063	1,32800	2,29561	2,65600	4,60125

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	8,03750	18,8409	16,0750	3,65062	8,09100

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	15,0712	16,1820



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 5% KE-4 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

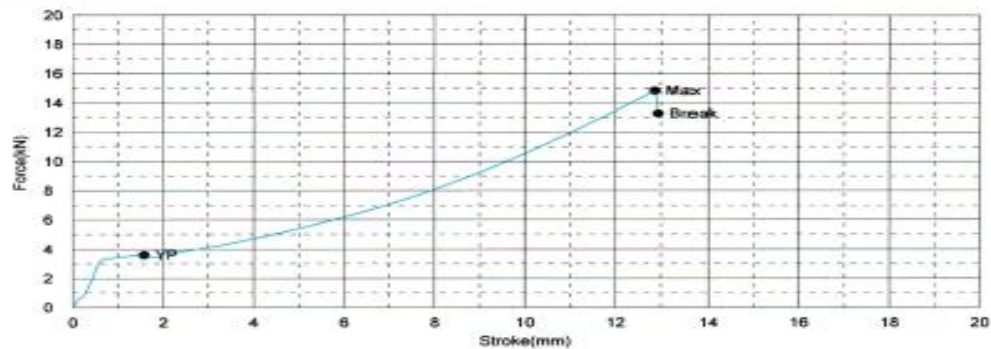
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	14,1500	19,6000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	3,60188	1,58000	12,8560	3,16000	14,8425

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,8690	52,9768	25,7380	13,2850	12,9460

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	47,4176	25,6920



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 5% KE-5 ITS

Date : 2018/06/09

:

YUDI-AZ TEAM

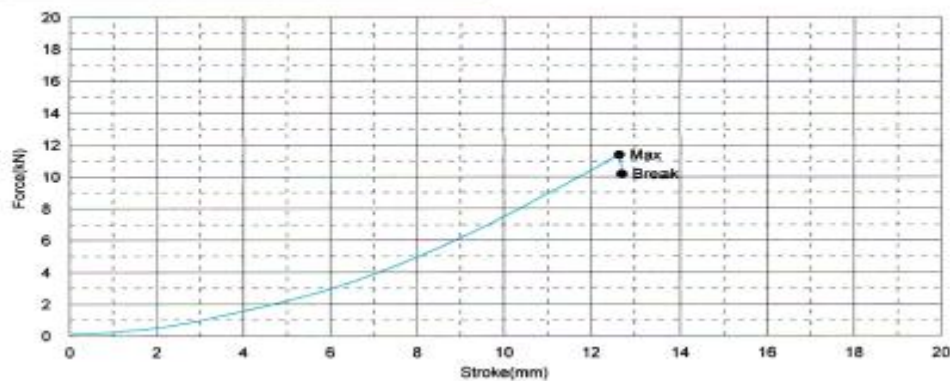
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	12,6700	19,6300	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1					11,3681

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,6445	45,7884	25,2890	10,1819	12,7105

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	40,9384	25,4210



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 10 % KE-1 ITS

AZ TEAM

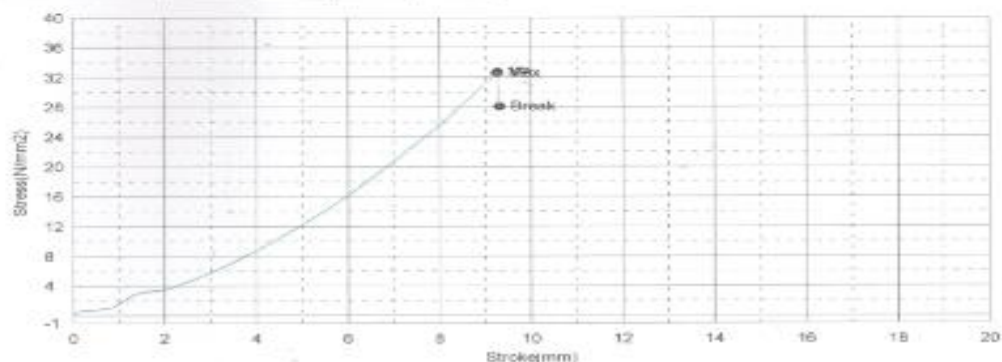
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	12,0300	19,4100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,61562	9,24800	32,6148	18,4950	7,63750

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,28850	32,7085	18,5370	6,55312	9,30900

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	28,0645	18,6180



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 10 % KE-2 ITS

Date : AZ TEAM

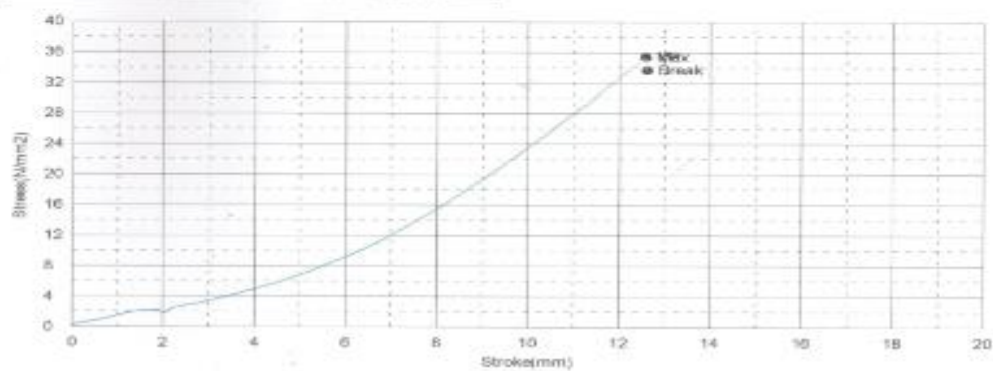
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	12,6500	19,2800	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,63437	12,5730	35,4025	25,1460	8,63437

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,5730	35,4025	25,1460	8,21562	12,6030

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	33,6855	25,2060



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 10% KE-3 ITS

Date : 2018/06/09

:

YUDI-AZ TEAM

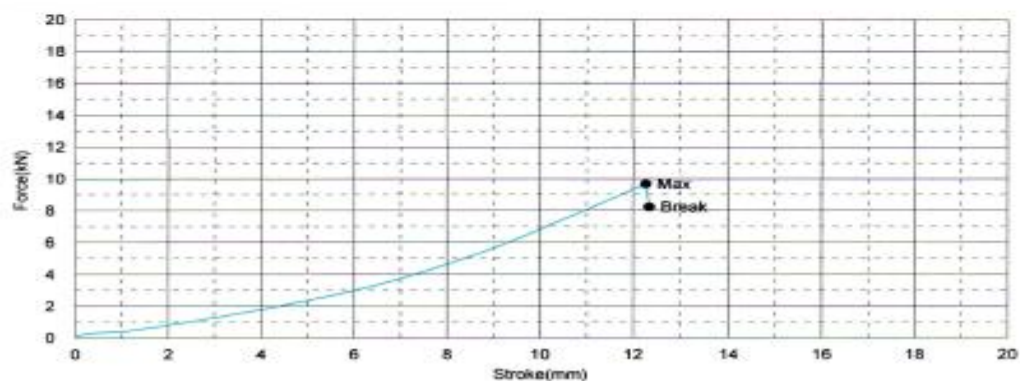
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	12,6500	19,6200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,67562	12,2715	38,9843	24,5430	9,67562

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,2715	38,9843	24,5430	8,23563	12,3495

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	33,1623	24,6990



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 10% KE-4 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

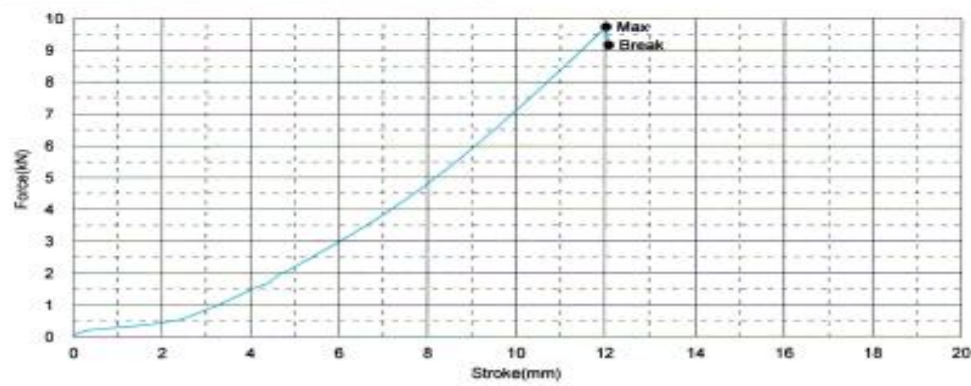
Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Gauge Length
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	14,4100	19,4700	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,74125				

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,0215	34,7204	24,0430	9,16375	12,0820

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	32,6620	24,1640



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 10% KE-5 ITS

Date : 2018/05/09

YUDI-AZ TEAM

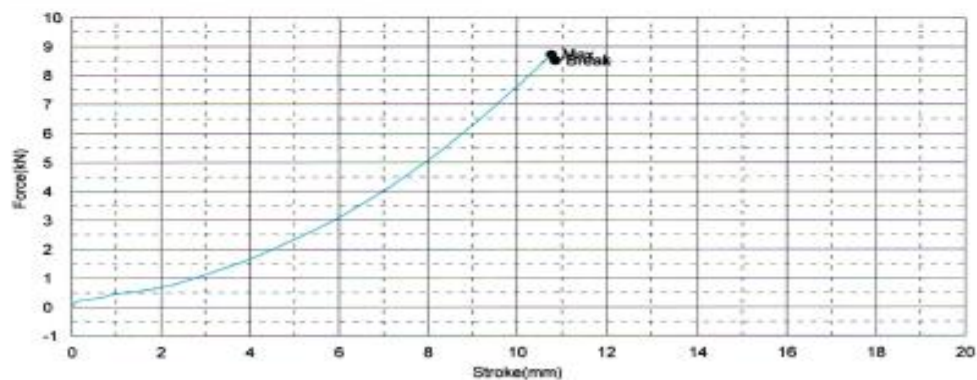
Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Gauge Length
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	14,5800	19,5000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,72313				

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,7595	30,6817	21,5190	8,51563	10,8490

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	29,9519	21,6980



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 15 % KE-1 ITS

AZ TEAM

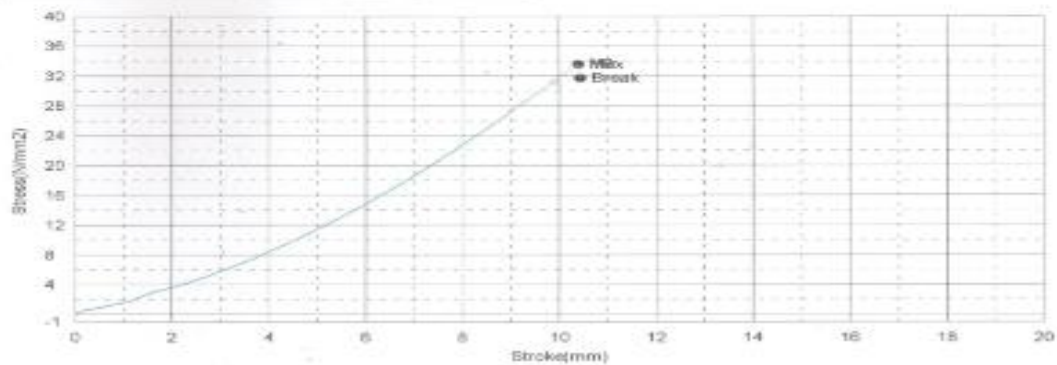
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	14,0800	19,7600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,33750	10,3870	33,6092	20,7740	9,33750

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,3870	33,6092	20,7740	8,82813	10,4270

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	31,7758	20,8540



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 15 % KE-2 ITS

AZ TEAM

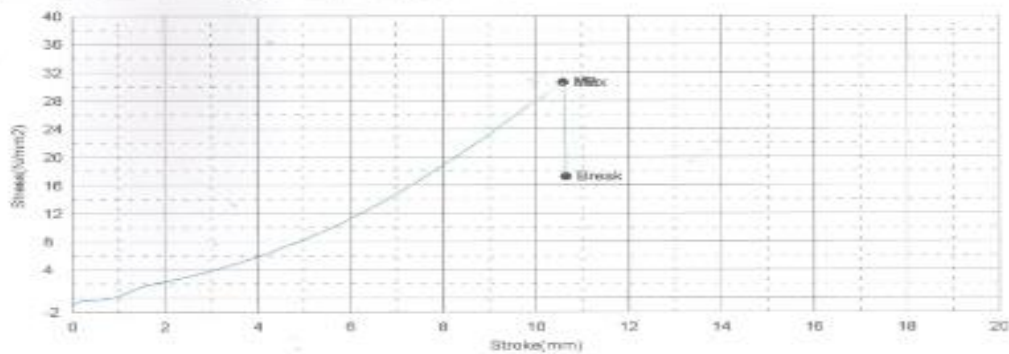
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	13,3300	19,7200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,05000	10,5885	30,6238	21,1770	8,05000

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,5885	30,6238	21,1770	4,52812	10,6490

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	17,2259	21,2980



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 15% KE-3 ITS

Date : 2018/08/09

YUDI-AZ TEAM

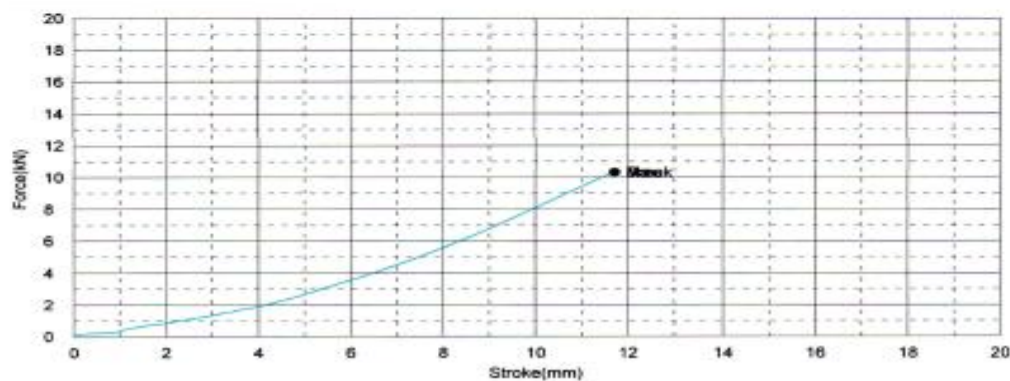
Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Gauge Length
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	14,3000	19,8200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	10,3375

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	11,7075	36,4734	23,4150	10,3375	11,7075

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	36,4734	23,4150



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 15% KE-4 ITS

Date : 2018/08/09

YUDI-AZ TEAM

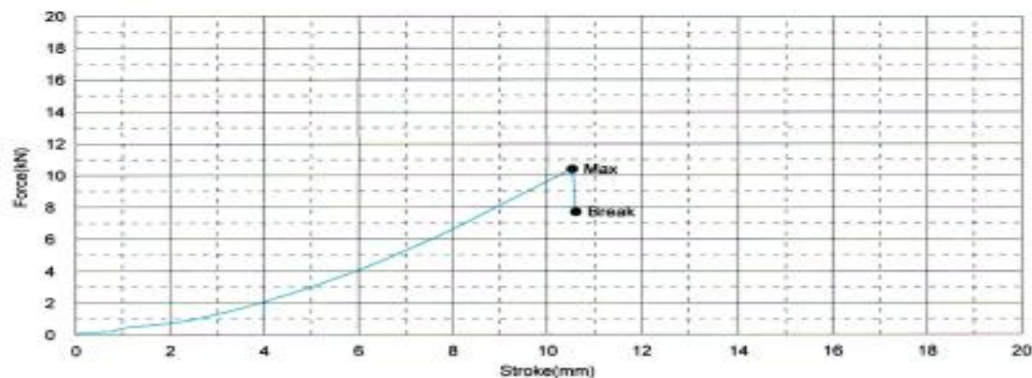
Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Gauge Length
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	14,8100	19,8500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	10,4187

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,5290	35,8012	21,0580	7,71438	10,6085

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	26,5084	21,2170



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 15% KE-5 ITS

Date : 2018/06/09

:

YUDI-AZ TEAM

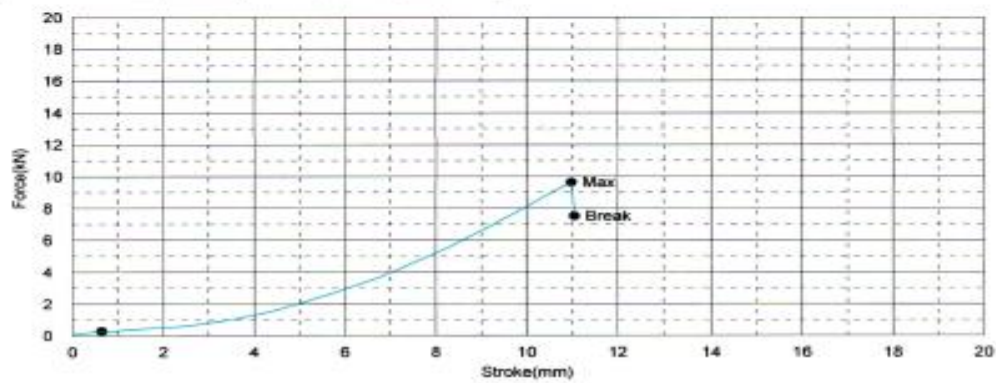
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	14,4700	19,7400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	,27250	,64050	,95401	1,28100	9,64188

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,9695	33,7556	21,9390	7,52125	11,0420

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	26,3314	22,0840



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 20% KE-1 ITS

: AZ TEAM

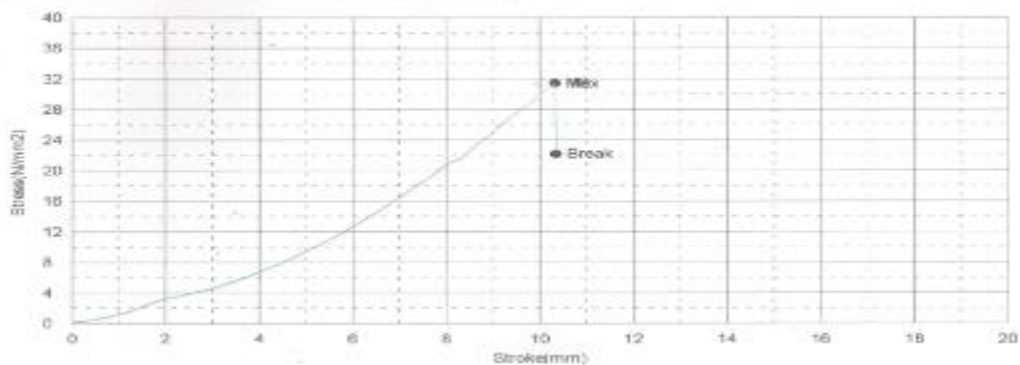
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	12,9300	19,6600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,96687	10,3200	31,4585	20,6400	7,96687

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,3200	31,4585	20,6400	5,63125	10,3360

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	22,1525	20,6720



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 20% KE-2 ITS

1 AZ TEAM

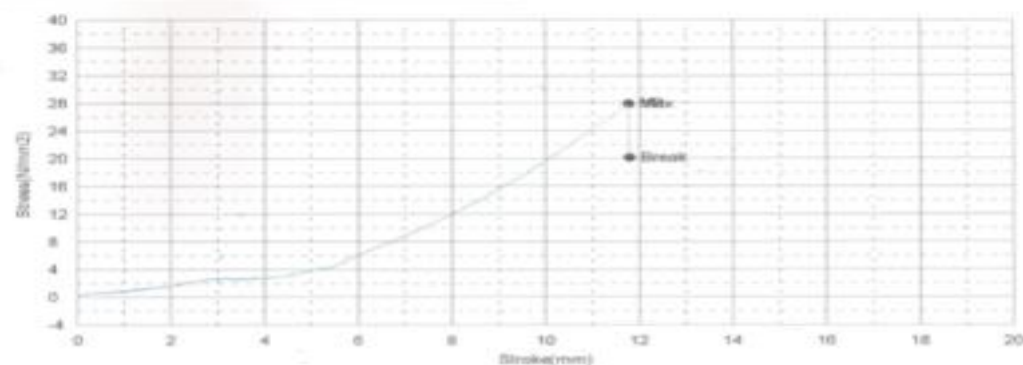
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	13,1700	19,7500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,26563	11,7735	27,9190	23,5470	7,26563

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	11,7735	27,9190	23,5470	5,24062	11,7970

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	26,1377	23,5940



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 20% KE-3 ITS

Date : 2018/06/09

:

YUDI-AZ TEAM

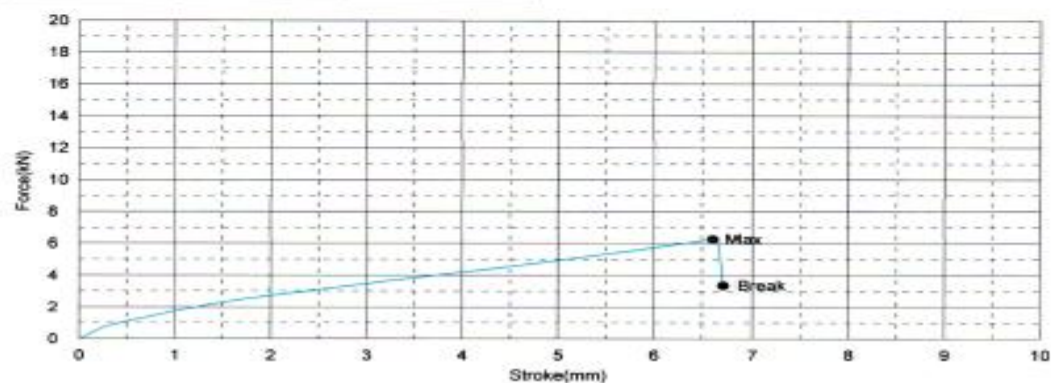
Shape: Plate

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1 - 1	11,7200	19,5400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	6,25313

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	6,61450	27,3052	13,2290	3,35500	6,72100

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	14,6501	13,4420



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 20% KE-4 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

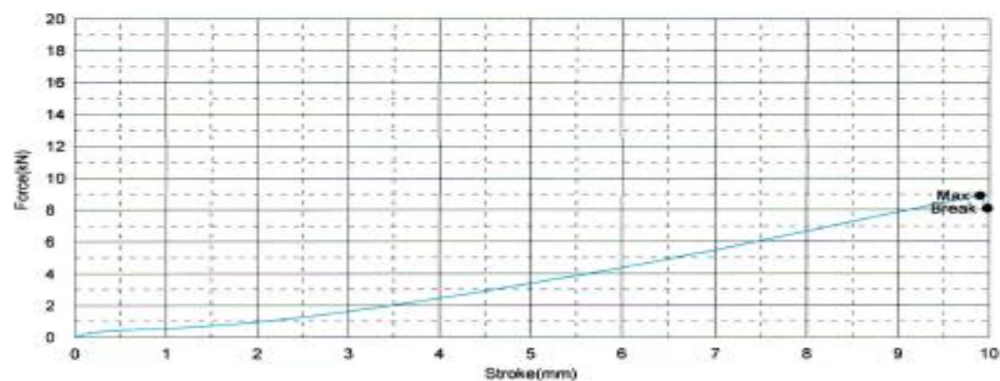
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	15,0200	19,4500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,88750				8,88750

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	IBreak_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,89850	30,4222	19,7970	8,09375	9,97950

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	27,7051	19,9590



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 20% KE-5 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

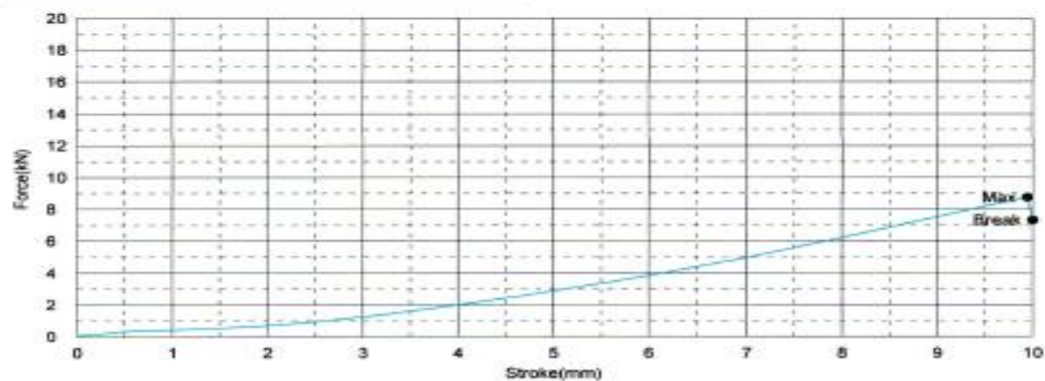
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,4800	19,4400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,74312				8,74312

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	IBreak_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,94150	31,0600	19,8830	7,32750	10,0000

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	26,0310	20,0000



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 30% KE-1 ITS

Date : 2018/06/09

:

YUDI-AZ TEAM

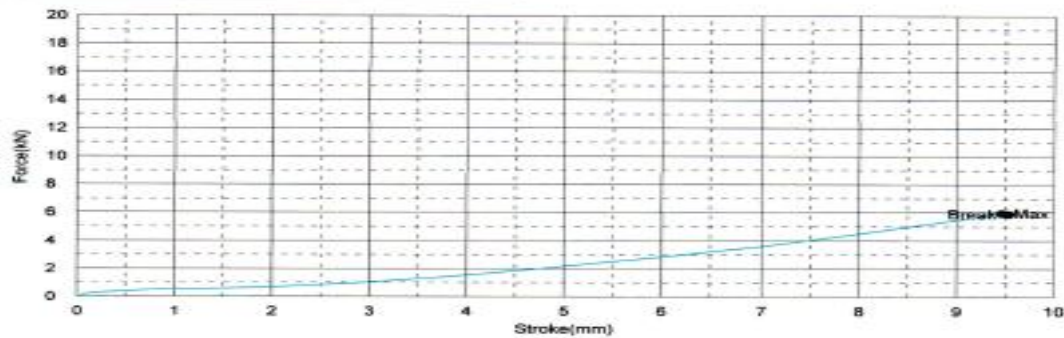
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,9000	19,6200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	5,95625				

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,46500	21,8403	18,9300	5,89937	9,53150

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	21,6318	19,0630



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 30% KE-2 ITS

Date : 2018/06/09

:

YUDI-AZ TEAM

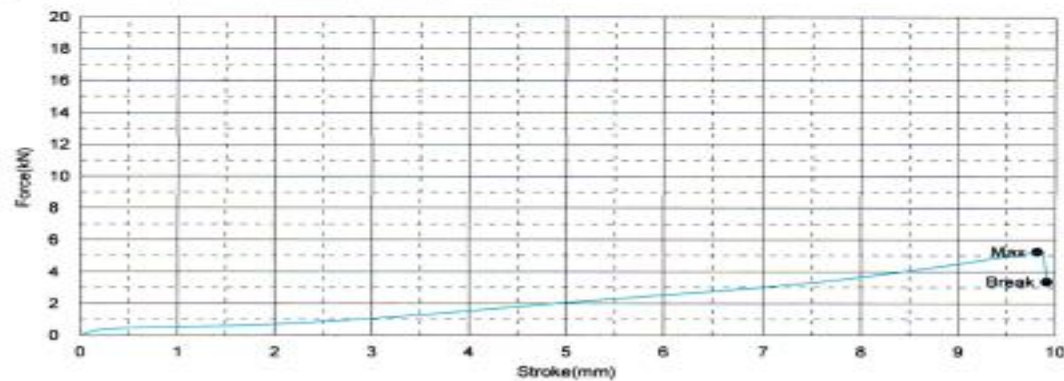
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8100	19,3000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	5,24625				

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,81300	19,6833	19,6260	3,37250	9,91000

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	12,6532	19,8200



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 30% KE-3 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

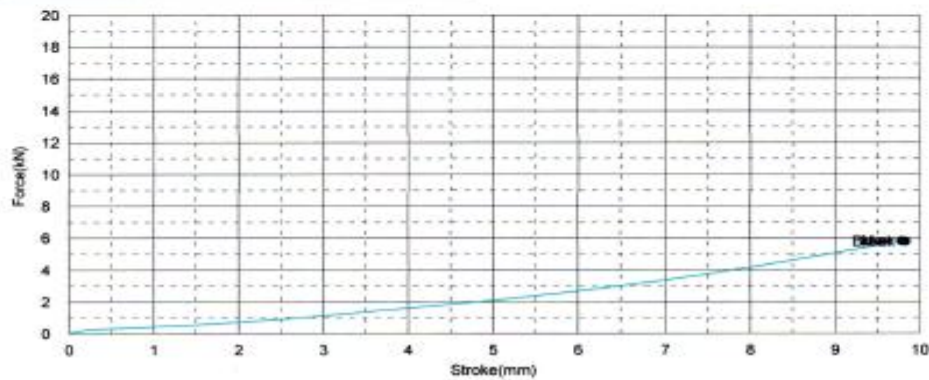
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,1700	19,6100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	5,81375

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,78150	20,9223	19,5630	5,78937	9,82350

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	20,8346	19,6470



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 30% KE-4 ITS

Date : 2018/06/09

YUDI-AZ TEAM

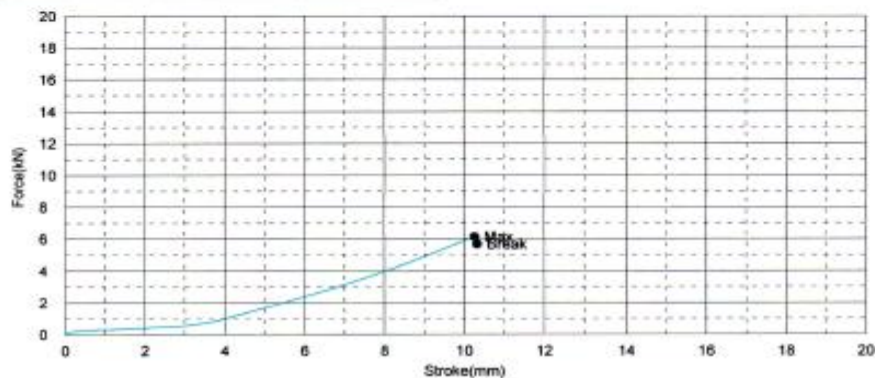
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0500	19,2200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	6,14063

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,2510	22,7396	20,5020	5,67625	10,3130

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	21,0200	20,6260



LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK SEKAM 30% KE-5 ITS

Date : 2018/06/09 : YUDI-AZ TEAM

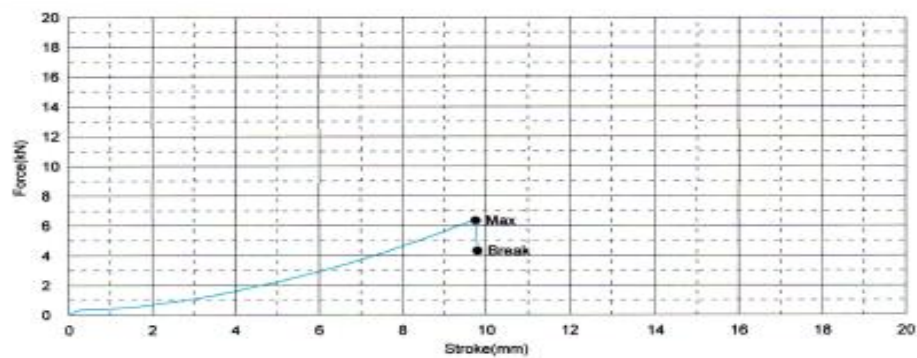
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,6900	19,8700	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	6,34688

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	9,74600	23,5696	19,4920	4,31125	9,79000

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	16,0102	19,5800



LAMPIRAN UJI LENTUR

HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM 10% KE 1 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 ID :

Shape: Plate

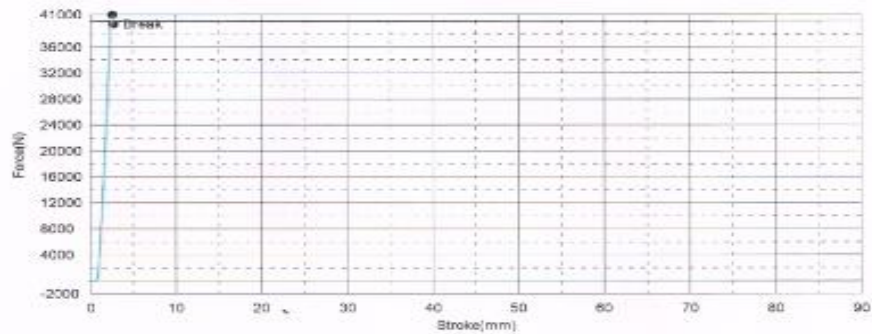
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	40993,8	2,61500	191,192

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,46585	39540,6	2,74100	184,414	1,53648



HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM 10% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 ID :

Shape: Plate

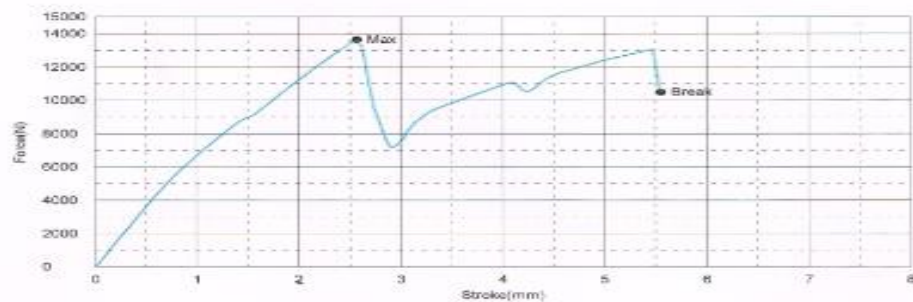
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	13640,6	2,56700	63,6188

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,43894	10490,6	5,55250	48,9275	3,11247



HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM 10% KE 3 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

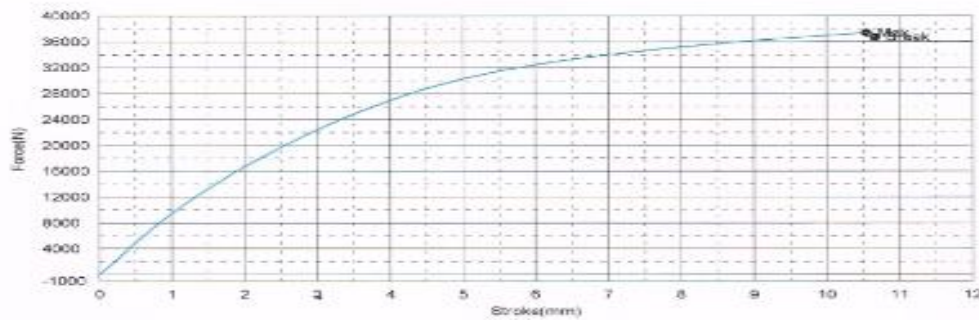
Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	37425,0	10,5400	124,263

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	7,00235	36765,6	10,6605	122,073	7,05241



HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM 10% KE 4 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

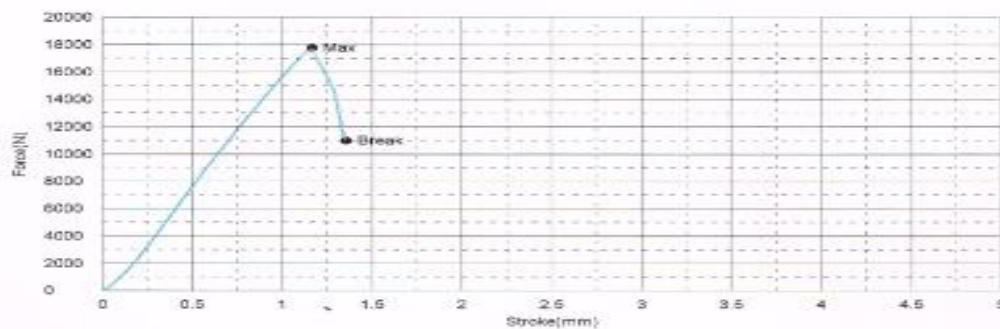
Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	17778,1	1,16800	59,0289

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	,77587	11000,0	1,35850	36,5234	,90253



HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM

10% KE 5

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 ID

Shape: Plate

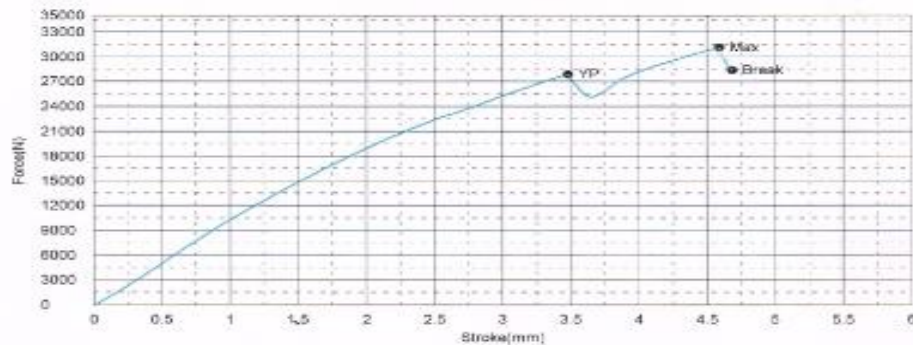
Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	27898,9	3,48200	92,8283	2,31330	-

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-	-	-	-	-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-	-	31146,9	4,58050	103,417

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	3,04974	28387,5	4,68350	94,2554	3,11153



HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM

15% KE 1

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 ID

Shape: Plate

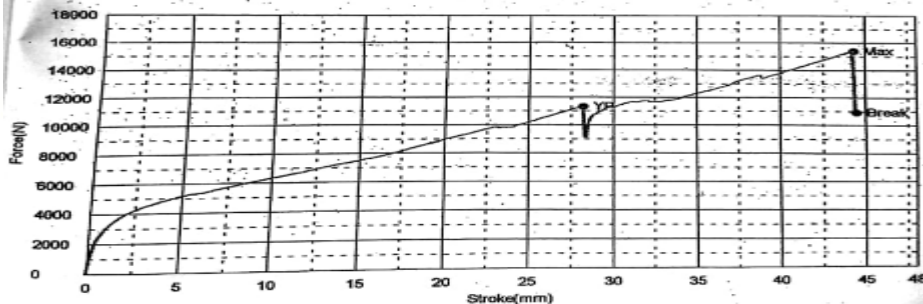
Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	75,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	11309,4	28,2020	37,5507	18,7363	-

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-	-	-	-	-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-	-	15390,6	44,3125	51,1017

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	29,4394	10928,1	44,4380	38,2848	29,5228



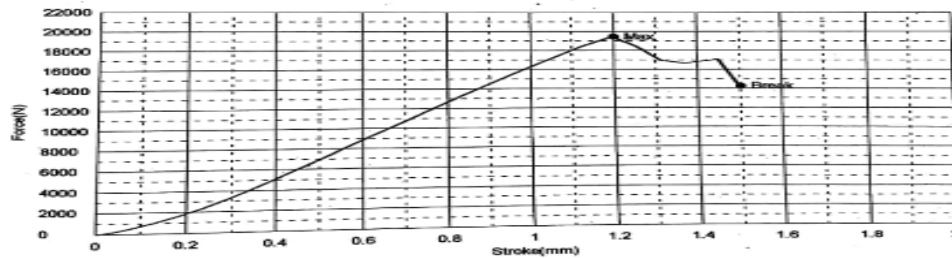
HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM 15% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	mm	mm	mm
	27,0000	75,0000	170,0000
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS
Units	N	mm	N/mm2
1 - 1			
Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%
1 - 1			
Name	YS2 Stress	YS2 Strain	Max Force
Parameter	0,2 %	0,2 %	Max Disp
Units	N/mm2	%	Max Stress
1 - 1			
			19453,1
			mm
			1,20050
			N/mm2
			90,7279
Name	Max Strain	Break Force	Break Disp
Units	%	N	mm
1 - 1			
	67294	14262,5	1,50150
			N/mm2
			66,5192
			%
			84167



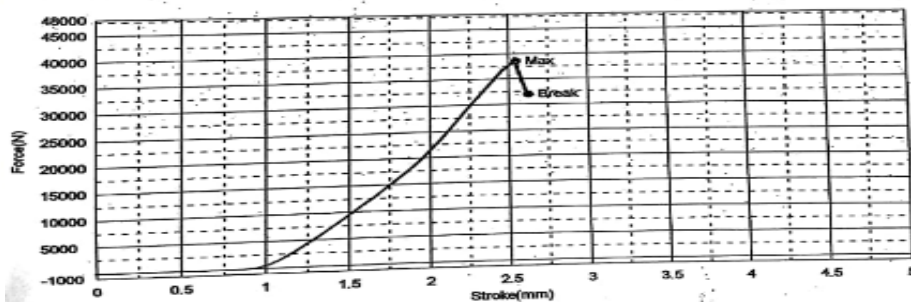
HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM 15% KE 3 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	mm	mm	mm
	32,0000	75,0000	170,0000
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS
Units	N	mm	N/mm2
1 - 1			
Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%
1 - 1			
Name	YS2 Stress	YS2 Strain	Max Force
Parameter	0,2 %	0,2 %	Max Disp
Units	N/mm2	%	Max Stress
1 - 1			
			38621,9
			mm
			2,54800
			N/mm2
			128,237
Name	Max Strain	Break Force	Break Disp
Units	%	N	mm
1 - 1			
	1,69279	31968,8	2,62350
			N/mm2
			106,146
			%
			1,74295



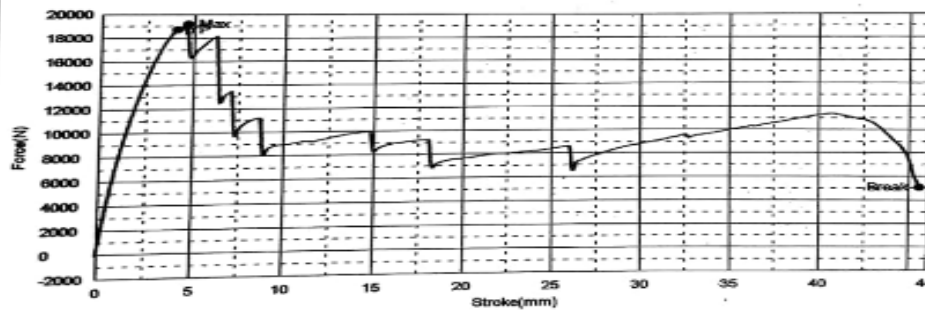
HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM **15% KE 4** **ITS AZ TEAM**

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Lower Support		
1 - 1	mm	mm	mm		
	32,0000	75,0000	170,0000		
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1 Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	18712,5	4,06700	62,1313	2,70195	--
Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	YS2 Force	YS2 Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--
Name	YS2 Stress	YS2 Strain	Max Force	Max Disp	Max Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	19200,0	4,64900	63,7500
Name	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress	Break Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	3,06901	5071,88	45,5550	16,8402	30,2649



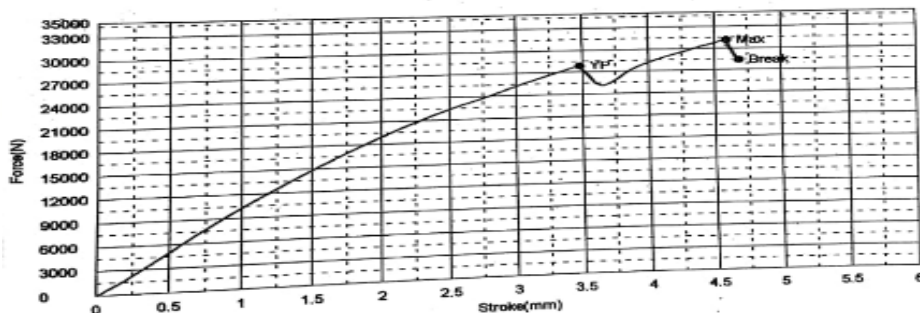
HASIL UJI BENDING SANDWICH + SEKAM **15% KE 5** **ITS AZ TEAM**

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Lower Support		
1 - 1	mm	mm	mm		
	32,0000	75,0000	170,0000		
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1 Force
Parameter	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,1 %FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	27896,9	3,48200	92,6263	2,31330	--
Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	YS2 Force	YS2 Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--
Name	YS2 Stress	YS2 Strain	Max Force	Max Disp	Max Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	31146,9	4,59050	103,417
Name	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress	Break Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	3,04974	28387,5	4,68350	94,2554	3,11153



BIODATA PENULIS



Yudiono lahir di Surabaya, Jawa Timur pada Rabu, 1 Februari 1978. Anak semata wayang dari pasangan Bapak Matarip dan Ibu Supiyati ini menghabiskan masa kecil dan pendidikannya kota di Surabaya.

Masa sekolah dasar penulis habiskan di SDN I Balas Klumprik,-Surabaya. Pada tingkat Sekolah Menengah Pertama, penulis melanjutkan pendidikan di SMP YPM Sepanjang, Sidoarjo. Selanjutnya, penulis menempuh

pendidikan di Sekolah Pelayaran Menengah (SPM) Sinar Bahari-Surabaya jurusan tehnik dan lulus tahun 1997. Pada tahun 1998, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS) jurusan Teknik Perkapalan.

Selama jenjang pendidikan S1, penulis pernah menjadi ketua umum Himpunan Mahasiswa Perkapalan ITATS periode 2002-2003. Alhamdulillah, pada tahun 2004, penulis berhasil menempuh pendidikan S1 dengan IPK 3,10. Judul skripsi yang dipilih penulis adalah “Optimasi Bongkar Muat Kapal Muatan Curah di Pelabuhan Tanjung Perak”.

Pada tahun 2016, penulis secara resmi menjadi mahasiswa Program Pasca Sarjana Teknologi Kelautan ITS pada Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan dengan bidang konsentrasi Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Judul Thesis yang diangkat penulis pada proses menempuh pendidikan Magister adalah “Analisis Statis Dan Dinamis *Sandwich Panel* Berbahan *Core* Material Limbah Sekam Untuk Konstruksi Geladak Kapal”.

(yudionothok@gmail.com)